

異質測地網의 同時調整과 信賴度の 適用

Simultaneous Adjustment and Reliability Application in Heterogeneous Network

李 石 贊* 曹 圭 田**
Lee Suck-Chan Cho Kyu-Jon
高 英 豪*** 李 榮 鎮****
Kho Young-Ho Lee Young-Jin

要 旨

三邊三角網이 동일한 형상을 갖는 三邊網이나 三角網보다 더 우수함은 잘 알려진 사실이다. 그러나 일반적으로는 異質測地網의 調整에서 잔차와 基準分散값이 더 크게 나타나므로 이를 설명하기가 쉽지 않다. 이 논문에서는 異質網의 同時調整과 그 精密度 및 信賴도에 대해 논의되어 있다. 實測成果를 적용한 결과 異質測地網의 해석에는 信賴度の 개념과 기준이 精密度보다 타당함을 보여주고 있다.

ABSTRACT

It is well known that a triangulation net is superior to a trilateration net or triangulation net in a same configuration. In general, to explain this nature is not easy because the large residuals and reference variance are revealed in the adjustment of a heterogeneous network.

In this paper the precision and the reliability of network are discussed, and the considerations of simultaneous adjustment are covered. A practical example shows that the concept and criteria of reliability give better estimate than the precision in heterogeneous network.

1. 序 論

三邊三角網과 같은 異質測地網(heterogeneous network)에서는 測定要素가 서로 다르게 구성되어 있으므로 同質測地網(homogeneous network)에 비하여 同時調整과 解析에 어려움이 따르고 있다. 특히 좌표와 각도 및 라디안에 대한 상호변환, 그리고 測定값의 中량평가에 대한

문제등을 고려해야 한다.

동일한 형상에서 異質網이 同質網보다 더 우수하다는 것은 주지의 사실이지만 偶然誤差의 전과를 나타내는 精密度만으로는 설명하기 곤란하다. 즉, 三邊網이 잔차와 基準分散(reference variance)이 작기 때문에 더 좋다는 오류를 범하기 쉽다. 그러므로 偶然誤差는 물론이고 定誤差와 過大誤差(gross error)의 영향을 포함하고 있는 개념인 信賴度の 도입이 필요하다.

* 漢陽大學校 工科學 教授 *** 慶南大學校 工科學 助教授
** 京畿大學校 工科學 助教授 **** 漢陽大學校 大學院 博士課程

信賴度란 測定값의 미소변화에 따른 網의 건고성을 의미하며,⁽⁷⁾ 소거될 수 없는 오차의 크기로서 한계를 두게 된다. 반면 精密度는 미지량에 대한 共分散 매트릭스로 주어지며 보통 誤差橢圓으로 나타낸다. 여기서 信賴도와 精密度는 모두 測定값의 質과 모델의 형상에 대한 함수로서 나타내어 질 수 있다.⁽⁶⁾

이 信賴도의 개념은 W. Baarda를 중심으로하는 Deft공대의 연구진에 의해 많은 발전이 이루어졌으며,⁽¹³⁾⁽¹⁷⁾ 주로 最小제곱법에 의한 調整結果의 해석을 근거로 하고 있다.

이 論文에서는 동일한 형상을 갖는 三邊網, 三角網, 三邊三角網(triangulation)에 대하여 同時調整을 실시하고 각각의 精密度와 信賴도를 평가함으로써 精密度와는 무관하게 異質網의 信賴도가 높다는 사실을 수치적으로 제시하였다.

2. 測地網의 精密度

측지망의 조정을 위해서는 먼저 初期近似값을 사용하여 距離, 角, 方向 등의 觀測方程式을 세워야 한다.

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

(m × n) (n × 1) (m × 1) (m × 1)

여기서 A는 설계매트릭스, X는 미지벡터, V는 잔차벡터, L = O - C(측정값 - 계산값)의 벡터이다.

座標調整法(variation of coordinates)의 경우에는 m이 測定の 수를 의미하며 n은 평면에서 미지좌표의 수가 된다. 이때 V^TWV가 최소가 되도록 조정된 미지좌표의 分散-共分散 매트릭스 Q_{xx}에는 網의 精密度를 평가하는데 필요한 모든 정보를 포함하고 있다.

$$Q_{xx} = \sigma_0^2 (A^T W V)^{-1} \quad (2)$$

이는 測定の 重量과 A로 정의되는 형상의 함수임을 보여주고 있으며 W의 평가가 정확할 경우에는 $\hat{\sigma}_0^2 = V^T W V / (m - n) = 1$ 이 된다. 특히 트래버어스와 같이 자유도가 낮을 경우에는 W의 평가가 정확해야만 정확한 해석이 가능하다.⁽¹²⁾

絕對誤差橢圓

Q_{xx}의 대각선 요소가 座標의 分散을 의미하

므로 그 크기가 최대로 나타나는 방향을 주축(±σ_{max}), 최소인 방향을 부축(±σ_{min}), 주축의 방향각을 φ로 표시하면 i점에 대한 絕對誤差橢圓(point or absolute error ellipse)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.⁽³⁾⁽¹¹⁾

$$\sigma_{max}^2 = \frac{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2}{2} + \left\{ \left(\frac{\sigma_{xi}^2 - \sigma_{yi}^2}{2} \right)^2 + \sigma_{xixi}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\sigma_{min}^2 = \frac{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{yi}^2}{2} - \left\{ \left(\frac{\sigma_{xi}^2 - \sigma_{yi}^2}{2} \right)^2 + \sigma_{xixi}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\tan \phi = \sigma_{xixi} / (\sigma_{max}^2 - \sigma_{xi}^2) \quad (5)$$

이 誤差橢圓은 부축의 방향이 固定點을 향하고 있을 때 方向의 오차가 크며, 반대로 주축이 固定點을 향하고 있을 때는 距離의 誤差가 큼을 보여주는 특징을 갖고 있다.⁽³⁾ 아울러 다음의 성질도 있다.⁽²⁾⁽¹¹⁾

- ① σ_x² + σ_y²은 좌표계의 회전에 대해 불변량이다.
- ② σ_x²σ_y² - σ_{xy}²도 좌표계의 회전에 대해 불변량이다.
- ③ σ_x² = σ_y², σ_{xy} = 0이면 원이 된다.
- ④ σ_{max} = 0 또는 σ_{min} = 0이면 두 개의 원으로 분할된다.

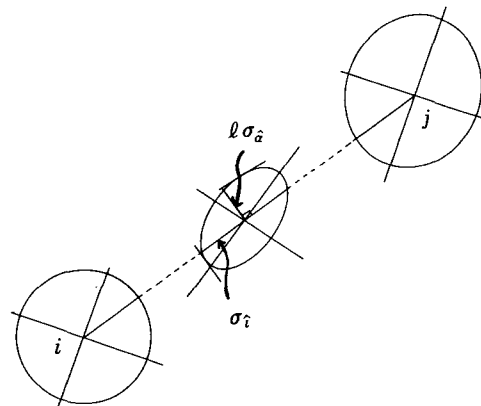


그림 1. 絕對誤差타원과 상대誤差타원

相對誤差橢圓

상대오차타원(relative error ellipse)은 미지점 두 점간의 상대적인 誤差를 나타내기 위하여 사용되며 座標의 차이에 의한 誤差傳播로서 구할 수 있다.⁽¹³⁾ 즉,

$$\Delta X_{ij} = X_j - X_i \quad (6)$$

$$\Delta Y_{ij} = Y_j - Y_i$$

인 관계를 이용하면 다음과 같이 된다.

$$Q_{\Delta X, \Delta Y} = B Q_{XX} B^T \quad (7)$$

$$B = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

그러므로,

$$\sigma_x^2 = \sigma_{x_i}^2 - 2\sigma_{x_{ixj}} + \sigma_{x_j}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y_i}^2 - 2\sigma_{y_{iyj}} + \sigma_{y_j}^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{x_{ixj}} - \sigma_{y_{iyj}} - \sigma_{x_{ixj}} + \sigma_{y_{iyj}} \quad (10)$$

가 된다. 이 식을 앞서의 식(3)~(5)에 대입하여 相對誤差橢圓을 구할 수 있다.

이때 두 점간의 거리가 $\ell_{ij}^2 = \Delta X_{ij}^2 + \Delta Y_{ij}^2$ 이므로 상대적인 거리오차는 誤差橢圓의 성질을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{\ell_{ij}}^2 = \sigma_{max}^2 \quad (11)$$

같은 방법으로 方向角은 $\phi_{ij} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\Delta X}\right)$ 이므로

$$\sigma_{\phi_{ij}}^2 = \frac{\sigma_{max}^2}{\ell_{ij}^2} (\rho'')^2 \quad (12)$$

가 되며 $\phi_{ij} + 90^\circ$ 방향에 최대 크기로 나타난다.

여기서 구해진 $\sigma_{\ell_{ij}} / \ell_{ij}$ 은 相對精密度로서 測地網의 등급을 결정하는 데 사용되고 있다. 이 相對誤差橢圓은 固定點을 갖는 網調整의 오차평가에 있어 絕對誤差橢圓보다 더 효과적이다.⁽³⁾⁽¹⁴⁾

그림 1.에서는 絕對誤差橢圓과 相對誤差橢圓을 보여주고 있으며 식(11)과 식(12)의 관계를 나타내고 있다.

3. 測地網의 信賴度

앞서 언급된 바와 같이 測地網의 신뢰도는 개개의 測定값에 대한 過大誤差(실제로는 모델오차 등의 定誤差를 포함)의 檢出능력에 관계되며

假說檢定을 위한 통계량에 근거하고 있다.⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾

過大誤差가 포함되어 있는 突出測定값(outlier measurement)을 Baarda의 W-검정에 의해 판단할때, 檢出되지 않을 최대의 過大誤差 크기(the maximum undetected gross error)로서 內部信賴度(internal reliability) $|\nabla \ell_i|$ 가 표현된다.

즉, 1차원 검정에서 1개의 過大誤差만이 포함되어 있다고 가정하는 관용적인 검정(conventional test)에서 測定값에 상관관계가 없는 독립측정이라면 $|\nabla \ell_i|$ 는 다음과 같이 정의된다.⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽¹⁷⁾

$$|\nabla \ell_i| = \sqrt{\lambda_o} \cdot \sigma_i \cdot \frac{\ell_i}{\sigma_{v_i}} \quad (13)$$

여기서 $\sigma_i (= \sigma_o / \sqrt{w_i})$ 가 測定の 표준오차, σ_{v_i} 가 잔차에 대한 표준오차, $\sqrt{\lambda_o}$ 가 신뢰구간 α_o 에서 검정력 β_o 로 검정되는 한계값을 나타낸다.

그러나, 미지량에 미치는 영향이 미소할 경우에는 $|\nabla \ell_i|$ 가 무의미하게 되므로 檢出되지 않은 過大誤差가 角, 方向, 距離, 座標 등의 최종결과에 미치는 영향을 의미하는 外部信賴度(external reliability)의 개념이 훨씬 더 중요하게 된다. 즉, σ_f 만큼 오차가 전파된다고 한다면,

$$\nabla F \leq \sqrt{\lambda_o} \cdot \frac{\sigma_{\ell_i}}{\sigma_{v_i}} \cdot \sigma_f \quad (14)$$

$$\nabla F \leq \sqrt{\lambda_{o,i}} \sigma_f \quad (15)$$

여기서 Baarda와 kok는 $\sqrt{\lambda_{o,i}}$ 를 外部信賴度の 척도로 사용하고 있으며, Pelzer와 Ashkenazi는 각각 信賴度の 기준으로 τ_i 와 k_i 를 제시하고 있다.⁽¹⁾⁽³⁾

$$\tau_i = \frac{\sigma_{\ell_i}}{\sigma_{v_i}} \quad (1 \leq \tau_i \leq \infty) \quad (16)$$

$$k_i = \frac{\sigma_{\ell_i}}{\sigma_i} \quad (0 \leq k_i \leq 1) \quad (17)$$

이 두식의 관계는 $\sigma_{v_i}^2 = \sigma_i^2 - \sigma_{\ell_i}^2$ 로부터 다음과 같이 된다.

$$\tau_i^2 = \frac{1}{1 - k_i^2} \quad (18)$$

또한 식(13)과 식(14)에서는 $(\sigma_i^2 - \sigma_{\ell_i}^2) / \sigma_{v_i}^2 = 1$ 을 이용하면,

$$\left(\frac{\sigma_{\ell_i}}{\sigma_{v_i}}\right)^2 = \tau_i^2 - 1 \quad (19)$$

식 (16)과 식 (17)에서 $\tau_i=1$ 또는 $k_i=0$ 인 경우에는 완전한 信賴度를 의미하며, $\tau_i=\infty$ 또는 $k_i=1$ 인 경우에는 전혀 신뢰할 수 없음을 의미한다. τ_i 가 内部信賴度를 나타내는 식 (13)에 바로 적용할 수 있는 반면 k_i 는 판단이 용이한 장점을 갖고 있다.⁽¹¹⁾⁽¹³⁾ 즉, $\sigma_i=\sigma_{\theta_i}$ 가 성립하는 경우에는 $k_i=1$ 이 되므로 조정계산에 의해서도 전혀 영향을 주지 못함을 알 수 있으며 신뢰할 수 있을수록 σ_{θ_i} 값이 σ_i 보다 작아짐을 알 수 있다.

이상에서 사용한 $\sigma_i^2, \sigma_{\theta_i}^2, \sigma_{\tau_i}^2$ 등은 식 (1)의 조정결과로부터 구해질 수 있다.⁽⁹⁾

4. 異質網의 同時調整시 고려사항

同質網의 경우와는 달리 異質網의 同時調整에서는 몇가지 고려해야 할 사항이 있다.

먼저 식 (1)의 觀測方程式을 적용함에 있어 라디안이나 (")단위로 계산하는 방식이 있다.同質網의 경우에는 어느 방식으로 계산해도 자리수에 따른 영향이 그다지 크지 않으나, 異質網의 경우에는 Double Precision을 사용하더라도 계산단위의 한계에 도달하는 경우가 많다.

그러므로 중형이하의 컴퓨터를 사용하는 계산에서는 (") 단위를 사용하고 距離를 표준화한 식 (22)~(24)의 방법이 효과적이다.⁽¹⁶⁾

表-1에서는 이에 대한 상대적인 비교를 보여주고 있으며 重量을 고려하게 되면 A^TWA, A^TWL, V^TWW 의 값이 같게 되어 결과는 같게 된다.

表-1. 계산단위에 따른 관측방정식

	Angle or Distance Equation (weight)*	
Radian	$\frac{\Delta X}{l_o} X = \left(\frac{O''}{\rho''} - \tan^{-1} \alpha \right) + V$	$\left(\frac{\rho''}{\sigma_a^2} \right)$ (20)
	$\frac{\Delta X}{l_o} X = (O - l_o) + V$	$\left(\frac{1}{\sigma_s^2} \right)$ (21)
Second	$\rho'' \frac{\Delta X}{l_o} X = (O'' - \rho'' \tan^{-1} \alpha) + \rho'' V$	$\left(\frac{1}{\sigma_a^2} \right)$ (22)
	$\rho'' \frac{\Delta X}{l_o} X = \rho'' (O - l_o) + \rho'' V$	$\left(\frac{1}{\rho'' \sigma_s^2} \right)$ (23)
	or	
	$\rho'' \frac{\Delta X}{l_o} X = \frac{\rho''}{l_o} (O - l_o) + \frac{\rho''}{l_o} V$	$\left(\frac{l_o^2}{\rho'' \sigma_s^2} \right)$ (24)

* $\sigma_a^2=1$ 로 가정한 경우임.

또한 事前分散 (priori variance) 이 정확하게 평가되었을 경우에는 $\hat{\sigma}_a^2=1$ 이 되지만 그렇지 못한 경우에는 문제가 된다. 이 경우에는 Scofield의 단위분산법 (unit variance method)과 같은 반복중량부과법 (reweighting method)이 사용될 수 있다. 단위분산법은 다음의 과정을 따른다.⁽¹²⁾

① 보통 角의 수가 距離보다 많으므로 먼저 角만으로써 σ_{θ_i} 를 평가한다.

② $\hat{\sigma}_a^2 = V^T W V / (m - n)$ 을 구한다.

③ $\sigma_{\theta_i} = \sigma_o \times \sigma_{\theta_i}$ 를 사용하여 $\hat{\sigma}_a^2=1$ 이 될때까지 반복한다.

④ 距離를 포함하여 계산하고 ③의 과정을 반복한다. 이때는 거리에 대한 σ_{θ_i} 만을 변화시킨다. 그러나 이 방법에는 몇가지 제약이 따르고 있다.

다음으로 고려해야 할 사항은 方向角의 계산에 필요한 $\tan^{-1}(X)$ 를 구하는 문제이다. 컴퓨터 기종에 따라 차이가 있으나 가장 간편한 방법은 다음 그림 2의 원리에 따라 식 (25)~(28)에 의하는 것이며, 角의 경우는 두 方向의 차이에 의해 구해진다.⁽⁶⁾⁽¹⁵⁾

$$(a) +\Delta X, +\Delta Y \quad A_1 = |\theta_1| \quad (25)$$

$$(b) -\Delta X, +\Delta Y \quad A_2 = 180^\circ - |\theta_2| \quad (26)$$

$$(c) -\Delta X, -\Delta Y \quad A_3 = 180^\circ + |\theta_3| \quad (27)$$

$$(d) +\Delta X, -\Delta Y \quad A_4 = 360^\circ - |\theta_4| \quad (28)$$

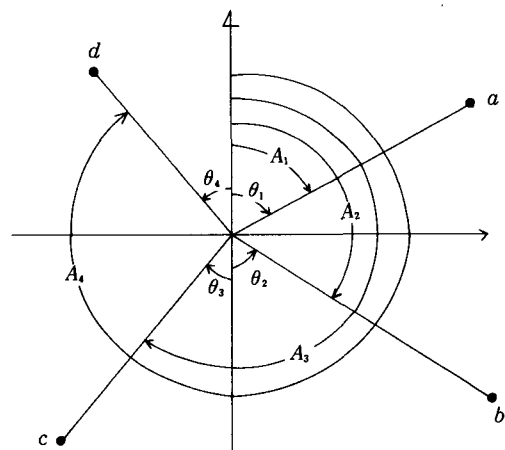


그림 2. 방향각의 계산

또 다른 사항으로는 固定點의 선택과 관계된다. 基準分散 σ_0^2 , 測地網의 형상, 測定값에 대한 보정량은 고정점의 선택에 무관하며 座標의 표준오차에 관계되는 Q_{xx} 는 변화한다.⁽¹⁶⁾ 여기서 Trace(Q)를 구하는 방법이 Mittermayer에 의해 제시되었으나 그 개념에 대한 인식이 어려우므로,⁽²⁾ 식 (11)~(12)의 평균값이 精密度 평가에 사용되고 있다.

그러나 測定값의 重量이 변화하면 測地網의 형상과 測定값의 보정량이 변화하므로 적용에 주의가 필요하다.⁽¹⁶⁾

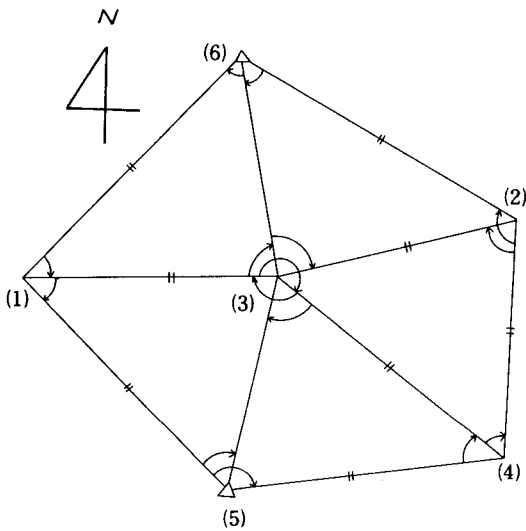


그림 3. 테스트망

5. 適用 및 考察

본 연구에서 사용한 테스트망은 10개의 변(평균변장 2.8km)과 15개의 각으로 구성된 三邊三角網이다(그림 3 참조). 이 網은 Ranger III (K & E)와 T2 (Wild)가 각각 사용되었으며 1985년 10월 國立地理院에서 測定한 것이다.

網의 조정계산액은 앞에서 식 (20)~(24)의 觀測方程式과 重量이 적용되었으며 점 (5)와 점 (6)을 固定點으로 선택하고 기존의 성과를 초기근사값으로 부여하였다. 또한, Scofield의 단위분산법에 의해 事前分散을 평가하였으므로 $\sigma_0^2=1$ 이 된다.

먼저 精密度에 의한 誤差分析이 시도되었다.

絕對誤差橢圓의 경우에는 固定點을 어떻게 선택하느냐에 따라 크게 변화하므로 測地網의 오차를 평가하기 곤란하다. 그러나 表-2의 결과는 단위분산법을 적용했기 때문에 자유도(DF)에 따른 구분이 됨을 보여준다.

相對誤差橢圓에 대한 결과는 表-3에 나타났다. 이 경우에서 상대오차타원의 σ_{max} 값에 따른 平均 相對精密度를 비교해보면 三邊網(TL), 三角網(TA), 三邊三角網(TAL)의 특징이 잘 나타나고 있으며 모두 1/50,000의 상대정밀도 보다 높음을 알 수 있다.

이때 임의의 측선방향에 대하여 식 (12)의 σ_p 를 구해서 상대정밀도를 구해도 결과가 같음을 알 수 있다. 또한 이러한 방법은 誤差의 傳播式을 이용하여 계산하는 것보다 훨씬 간편하다.

이 테스트망에 있어서는 두 점을 固定했으므로 1점 1방향이 고정된 경우와는 약간의 차이가 있을 것이므로 단점이 될 수가 있다.

表-2 .미지점에 대한 $\sigma_p = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}$

Point	TA	TL	TAL
(1)	0.05	0.05	0.03
(2)	0.06	0.07	0.03
(3)	0.02	0.05	0.02
(4)	0.07	0.07	0.03
DF	7	2	17

表-3. 상대오차타원의 σ_{max} 와 상대정밀도

Line	TA	TL	TAL
(1)-(3)	0.033 ^m	0.049 ^m	0.019 ^m
(1)-(5)	0.038	0.039	0.020
(1)-(6)	0.038	0.039	0.020
(2)-(3)	0.041	0.058	0.022
(2)-(4)	0.052	0.049	0.022
(2)-(6)	0.043	0.059	0.023
(3)-(4)	0.051	0.060	0.022
(3)-(5)	0.022	0.035	0.015
(3)-(6)	0.022	0.035	0.015
(4)-(5)	0.053	0.059	0.025
mean	0.039	0.048	0.020
$\sigma_{max}/\bar{\ell}$	1/71,000	1/58,000	1/139,000

이상에서와는 달리 信賴度를 고려하여 계산한

결과가 表-4와 같다.

앞서의 식 (17)에서 구한 Nottingham 기준으로 부터 식 (18)과 식 (19)를 이용하면 차례로 τ_i 와 σ_{li}/σ_{vi} 가 구해진다. 이때 $k=0.9$ ($\alpha_0=0.05$, $\beta_0=0.90$ 임)일때 $\tau=2.29$ 가 되며 $k=0.8$ 일때 $\tau=1.67$ 이 된다. 반대로 $\alpha_0=0.001$, $\beta_0=0.80$ 일 경우 $\sqrt{\lambda_0}=4.123$ 이므로 $|\nabla l_i|=3.24\tau\sigma_i=4.123\tau'\sigma_i$ 의 관계로부터 $\tau'=1.80$ 이 되어야 한다. 이때의 $k=0.83$ 이므로 Baarda의 기준과 유사한 값이 $k=0.8$ 에서 나타남을 알 수 있다. 또한 k_{ok} 의 기준은 $\sqrt{\lambda_{\alpha_i}} \leq 10$ 이므로¹⁴⁾ Baarda와의 관계에서 $\sigma_i/\sigma_{vi} \leq 2.43$ 이 된다.

表-4에 대해 이러한 사실들을 적용해 보면 三邊, 三角, 三邊三角網에 대한 차이가 분명해 짐을 알 수 있다.

즉, 三邊網의 경우에 10개 측선중 7개가 $k=0.9$ 를 초과하며, 8개 측선이 $k=0.8$ 또는 k_{ok} 의 기준을 초과하고 있다. 반면 三角網의 경우에는 $k=0.9$ 를 넘는 것이 없으나 $k=0.8$ 을 넘는 것이 3개이며, 三邊三角網의 경우에는 기준을 초과하는 것이 전혀 없다는 사실에 주의 할 필요가 있다.

결과적으로 주어진 테스트망에 대해서는 三邊三角網 > 三角網 > 三邊網의 순서로 信賴度가 높다고 판정할 수 있다.

앞서의 表-3에서는 우연오차에 대한 相對精密度와 相對誤差楕圓의 평가가 가능하였으나, 正確度를 나타내기에는 한계가 있다.

그러나 表-4에서와 같이 모든 誤差의 영향을 고려한 信賴度 解析에 있어서는 일반적인 網

表-4. 외부신뢰도의 기준에 대한 비교

Measurement	TA/TL			TAL			Remarks
	k_i	τ_i	σ_{li}/σ_{vi}	k_i	τ_i	σ_{li}/σ_{vi}	
163	0.73	2.12	1.87	0.42	1.22	0.70	k=0.8 ($\alpha_0=0.05$, $\beta_0=0.90$)
135	0.70	1.93	1.66	0.42	1.22	0.69	
316	0.72	2.08	1.82	0.56	1.46	1.06	
314	0.56	1.45	1.06	0.27	1.08	0.40	
362	0.81 [△]	2.92	2.75	0.57	1.49	1.10	
623	0.70	1.98	1.71	0.44	1.24	0.73	
631	0.74	2.24	2.00	0.46	1.26	0.77	
243	0.76	2.37	2.15	0.58	1.51	1.13	
246	0.79	2.64	2.44	0.63	1.65	1.31	
432	0.78	2.60	2.39	0.49	1.31	0.85	
453	0.68	1.85	1.56	0.33	1.12	0.51	
345	0.80 [△]	2.82	2.63	0.56	1.47	1.07	
341	0.59	1.53	1.16	0.52	1.37	0.93	
513	0.72	2.07	1.81	0.48	1.30	0.84	
514	0.80 [△]	2.74	2.55	0.54	1.42	1.01	
16	0.92 [*]	6.36	6.28	0.63	1.66	1.33	
13	0.84 [△]	3.30	3.15	0.64	1.68	1.35	
15	0.92 [*]	6.36	6.28	0.70	1.96	1.68	
35	0.74	2.20	1.96	0.47	1.29	0.81	
54	0.96 [*]	12.45	12.41	0.73	2.13	1.89	
34	0.94 [*]	8.07	8.01	0.65	1.72	1.39	
32	0.96 [*]	14.14	14.11	0.60	1.55	1.18	
42	0.97 [*]	17.50	17.47	0.78	2.60	2.39	
36	0.72	2.05	1.78	0.47	1.28	0.80	
62	0.95 [*]	9.35	9.29	0.69	1.92	1.64	

의 형태에 대한 평가가 분명해짐을 보여주고 있다.

6. 結 論

(1) 異質網의 同時調整에는 몇가지 특별한 기법들이 필요하며 秒단위의 계산과 距離觀測方程式을 표준화하여 사용하는 것이 효과적이다.

(2) 두 점 고정인 테스트망에서 三邊網, 三角網, 三邊三角網 모두 平均相對精密度가 1 / 50,000보다 높음이 확인되었다.

(3) 동일한 형상을 갖는 測地網에 대하여 信賴度を 적용한 결과 異質網(三邊三角網)이 同質網(三邊網 또는 三角網)보다 우수하다는 사실이 수치적으로 나타났다.

謝 辭

研究에 사용된 實測成果는 國立地理院에서 제공받은 것이며 이에 謝意를表하는 바이다.

參考文獻

1. Ashkenazi, V. and S. A. Crane, Reliability of Networks ; a practical problem, Forty Years of Thought (vol. 2), Delft, pp. 47~60.
2. Bomford, G., Geodesy (4th ed.), oxford, 1980, pp. 711~713.
3. Cross, P. A., Advanced Least Squares Applied to Position-Fixing, N-E London Polytec., WP-6, 1983, pp. 73~82.
4. Davis, R. E., dates, Surveying ; theory and practice (6th ed.), 1981, appendix B.
5. Gruending, L., Special Adjustment Tools for Surveying Networks, papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop, Calgary, pp. 19~33.
6. Kavouras, M., On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks, UNB Tec. Note, 1982.
7. Krakiwsky E. J. and A. P. Mackenzie, Network Design, papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop, Calgary, 1985, pp. 34~51.
8. Mackenzie, A. P. and E. J. Krakiwsky, Adjustment and Post Analysis, papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop, Calgary, 1985, pp. 64~78.
9. Mikhail, E. M., Observations and Least Squares, Harper & Row, 1976, chap. 11.
10. Pope, A. J., The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers, NOAA Technical Report NOS 65 NGSI, NOAA, Rockville, 1976.
11. Richardus, P., Project Surveying (3th ed.), North-Holland, 1977, chap. 9~14.
12. Scofield, W., Engineering Surveying (2nd ed.), Butterworth Scientific, vol. 2, 1985, pp. 35~48.
13. Staff of the Geodetic Computing Center, The Delft Approache for the Design and Computation of Geodetic Networks, Forty Yorty Years of Thought, Delft, 1982.
14. Vanicek, P. and E. J. Krakiwsky, Geodesy ; the concepts, North-Holland, 1982, chap. 12, 13, 18.
15. Wolf, P., Adjustment Computations (2nd ed.), P. B. L. publishing co., 1980, pp. 138~141.
16. 日本測量協會, 精密基準點測量(改訂版), 1980.
17. 李石贊·高英豪·李榮鎮, 突出誤差의 檢出과 測地網의 信賴度, 大韓土木學會論文集, 第7卷, 第1號, 1987, pp. 1~9.