

水平位置決定에 관한 3邊 및 3角測量的 比較研究

Comparative Study on Trilateration and Triangulation for Horizontal Positioning

| | | |
|-------|------|------|
| 柳 | 福 | 模* |
| Yeu, | Bock | Mo |
| 朴 | 常 | 進** |
| Park, | Sang | Jin |
| 康 | 仁 | 準*** |
| Kang, | In | Joon |

Abstract

In horizontal positioning, various methods of adjustment have been studied and developed to improve accuracy.

This paper aims to present the best effective adjustment in horizontal positioning. In this study, by observation of lengths and angles, Quadrilaterals and center-point pentagon are formed and analysed with Triangulation, Trilateration and combined method.

要 旨

地表面上에 存在하는 諸點間的 水平位置決定에 있어서 正確度を 向上시키기 위해 여러가지 調整方法들이 研究開發되어 왔다.

本 研究에서는 길이와 角을 觀測하여 四角網과 有心三角網을 형성하였으며, 이 두 網을 三角測量方法, 三邊測量方法 및 三角測量과 三邊測量을 組合한 方法으로 分析하여 이들 各各의 調整方法 중 水平位置決定에 가장 効用性 있는 方法을 제시하고자 하는 데 本 研究의 意義가 있다.

1. 序 論

水平位置의 解析은 三角測量과 三邊測量에 의 해 이루어져 왔다. 電磁波距離測量機로 距離測量的 正確도가 向上됨으로써 三邊測量에 의한 水平基準點 決定方法에 대해 많은 研究들이 진

행되어 왔다. 1966年 A. Sabbah 가 Heron 公式을 기본으로 面積條件式을 유도하고, 1978年 澤田良修가 既知點이 한 점 이상인 경우에 三邊測量에 대한 角條件式과 面積條件式을 제시하였다^(1,2,3). 1980年 Wolf 가 最小제곱법을 이용하여 未知點을 구하는 技法을 發展시켰으며 國內에서도 位置誤差에 관한 研究 등이 있다^(4,5).

三邊測量은 종래의 三角測量에 비해 많은 剩餘觀測값을 만들 수 있으므로 三角測量보다 正確한 座標값을 얻을 수 있을 것으로 기대되어

* 正會員·延世大學校 工科大學 教授

** 地籍技術硏修院, 助教授

*** 釜山大學校 工科大學 專任講師

왔다. 그러나, 三角測量的 角條件과 三邊測量的 邊條件의 영향을 고찰한 研究가 거의 없는 實情이다.

따라서, 本 研究에서는 四邊網 및 有心網을 조합한 多邊網에서 各 網別로 三角測量, 三邊測量, 三角과 三邊을 결합한 測量的 세 방법으로 座標를 구하여 比較分析함으로써 角條件과 邊條件의 영향을 고찰하고, 正確한 水平基準點 決定의 한 방법을 提示하고자 한다.

2. 三角, 三邊, 三角과 三邊結合의 解析理論

2.1 三角測量的 解析

2.1.1 補正量計算

三角網에는 幾何學的인 條件을 만족하는 方程式을 세우며 觀測값에 대한 角·邊條件을 동시에 만족하는 補正量을 구하기 위해 다음과 같은 觀測方程式을 이용한다⁽⁶⁾.

$$\left. \begin{aligned} a_1\delta_1 + a_2\delta_2 + a_3\delta_3 + a_4\delta_4 + \omega_1 &= 0 \\ b_1\delta_1 + b_2\delta_2 + b_3\delta_3 + b_4\delta_4 + \omega_2 &= 0 \\ c_1\delta_1 + c_2\delta_2 + c_3\delta_3 + c_4\delta_4 + \omega_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

의 誤差方程式이 성립한다. 단, δ_i 는 補正값, ω_i 는 誤差量.

최소제곱법의 기본식

$$\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 = \min. \quad (2-2)$$

으로부터 式(2-1)에서 未定係數 $-2K_1, -2K_2, -2K_3$ 를 순차적으로 곱하여 式(2-2)에 더하면

$$\left. \begin{aligned} a_1\delta_1(-2K_1) + a_2\delta_2(-2K_1) + a_3\delta_3(-2K_1) \\ + a_4\delta_4(-2K_1) + \omega_1(-2K_1) &= 0 \\ b_1\delta_1(-2K_2) + b_2\delta_2(-2K_2) + b_3\delta_3(-2K_2) \\ + b_4\delta_4(-2K_2) + \omega_2(-2K_2) &= 0 \\ c_1\delta_1(-2K_3) + c_2\delta_2(-2K_3) + c_3\delta_3(-2K_3) \\ + c_4\delta_4(-2K_3) + \omega_3(-2K_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

이 된다.

이를 정리하면

$$\begin{aligned} F = & \delta_1^2 - 2\delta_1(a_1K_1 + b_1K_2 + c_1K_3) + \delta_2^2 \\ & - 2\delta_2(a_2K_1 + b_2K_2 + c_2K_3) \\ & + \delta_3^2 - 2\delta_3(a_3K_1 + b_3K_2 + c_3K_3) \\ & + \delta_4^2 - 2\delta_4(a_4K_1 + b_4K_2 + c_4K_3) \\ & - 2(\omega_1K_1 + \omega_2K_2 + \omega_3K_3) = \min. \quad (2-4) \end{aligned}$$

이 되고 式(2-4)은 δ_i 를 變數로 하여 偏微分하고 各式을 0으로 놓으면 다음과 같은 相關式

이 된다.

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= a_1K_1 + b_1K_2 + c_1K_3 \\ \delta_2 &= a_2K_1 + b_2K_2 + c_2K_3 \\ \delta_3 &= a_3K_1 + b_3K_2 + c_3K_3 \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

δ_i 는 方向誤差, 角誤差, 座標誤差, 距離誤差를 나타내며 式(2-5)에서 K_i 가 결정되면, δ_i 가 구해진다.

$$\delta_i = \frac{1}{A} \left\{ a_i \begin{vmatrix} \omega_1[ab][ac] \\ \omega_2[bb][bc] \\ \omega_3[bc][cc] \end{vmatrix} + b_i \begin{vmatrix} [aa]\omega_1[ac] \\ [ab]\omega_2[bc] \\ [ac]\omega_3[cc] \end{vmatrix} + c_i \begin{vmatrix} [aa][ab][ac] \\ [ab][bb][bc] \\ [ac][bc][cc] \end{vmatrix} \right\} \quad (2-6)$$

단, $A = \begin{vmatrix} [aa][ab][ac] \\ [ab][bb][bc] \\ [ac][bc][cc] \end{vmatrix}$ []는 Gauss 記號이다.

2.1.2 座標計算

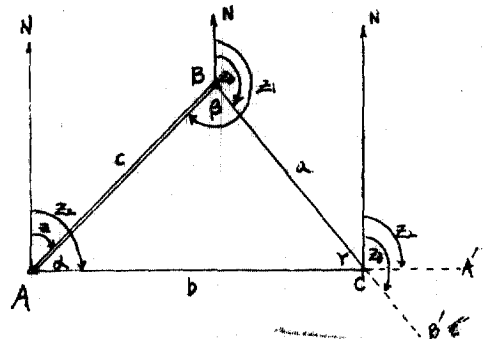


그림 2.1

座標는 縱橫線數值를 算定하여야 하며 方位角과 邊길이를 계산하고 C點의 座標는 다음과 같이 구한다⁽⁸⁾.

$$C_x = \frac{c \cdot \sin \beta}{\sin \gamma} \cdot \cos Z_2 + A_x$$

$$C_y = \frac{c \cdot \sin \beta}{\sin \gamma} \cos Z_2 + A_y \quad (2-7)$$

2.2 三邊網解析

基本 觀測方程式은

$$L_{ij} + V_{L_{ij}} = \{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2\}^{1/2} \quad (2-8)$$

으로써 이 非線型方程式을 Taylor 급수를 利用해서 線型化하고 다음과 같이 距離測量에 對한 最終 線型觀測方程式으로 표시하면

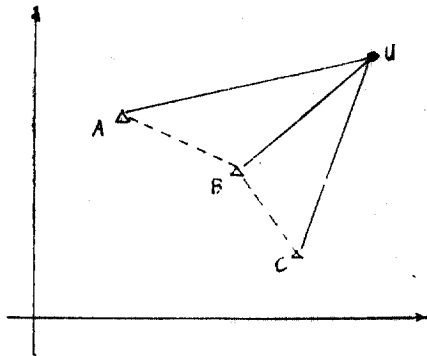


그림 2.2

$$K_{L_{ij}} + V_{L_{ij}} = \left[\frac{X_{i0} - X_{j0}}{(IJ)_0} \right] dX_i + \left[\frac{Y_{i0} - Y_{j0}}{(IJ)_0} \right] dY_j + \left[\frac{X_{j0} - X_{i0}}{(IJ)_0} \right] dX_j + \left[\frac{Y_{j0} - Y_{i0}}{(IJ)_0} \right] dY_i \quad (2-9)$$

이다.

그림 2.2에서 未知點 u 의 座標는 基準點 A, B, C 로부터 $\overline{Au}, \overline{Bu}, \overline{Cu}$ 의 距離를 觀測함으로써 求할 수 있다.

이들 距離觀測값 중 2개만 있으면 u 點의 X, Y 座標를 求할 수 있으나, 나머지 1個의 觀測값으로써 調整을 行하여 최적의 u 座標값을 計算할 수 있다. 觀測方程式은 式(2-9)에 다음 項을 適用시키면 式(2-10)이 얻어진다. 各邊에 대해 i 대신에 a, j 대신에 u 로 하고 邊의 임의의 끝점이 基準點이면 그 點의 座標는 變하지 않으므로 觀測方程式에서 이들의 項은 소거된다. 위와 같은 과정을 거치면 이들 線型化 觀測方程式 結果는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} (L_{au} - Au_0) + V_{L_{au}} &= \left[\frac{X_{u0} - X_a}{Au_0} \right] (dX_u) \\ &+ \left[\frac{Y_{u0} - Y_a}{Au_0} \right] (dY_u) \\ (L_{bu} - Bu_0) + V_{L_{bu}} &= \left[\frac{X_{u0} - X_b}{Bu_0} \right] (dX_u) \\ &+ \left[\frac{Y_{u0} - Y_b}{Bu_0} \right] (dY_u) \\ (L_{cu} - Cu_0) + V_{L_{cu}} &= \left[\frac{X_{u0} - X_c}{Cu_0} \right] (dX_u) \\ &+ \left[\frac{Y_{u0} - Y_c}{Cu_0} \right] (dY_u) \end{aligned} \right\} (2-10)$$

여기서

$$\begin{aligned} Au_0 &= \{(X_{u0} - X_a)^2 + (Y_{u0} - Y_a)^2\}^{1/2} \\ Bu_0 &= \{(X_{u0} - X_b)^2 + (Y_{u0} - Y_b)^2\}^{1/2} \\ Cu_0 &= \{(X_{u0} - X_c)^2 + (Y_{u0} - Y_c)^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (2-11)$$

L_{au}, L_{bu}, L_{cu} 는 觀測距離

X_{u0}, Y_{u0} 는 2個의 觀測距離로부터 얻은 u 點의 初期座標의 값이다.

위의 線型觀測方程式은 Matrix 형태로 나타내면

$$DQ = K + V \quad (2-12)$$

이다.

여기서 D 는 未知數의 係數 Matrix

Q 는 未知補正값 dX_u, dY_u Matrix

K 는 常數 Matrix, 즉 測定길이(初期 근사座標값에서 計算한 길이)

V 는 測定한 길이의 殘差이다.

최적의 補正값 dX_u, dY_u 는 最小 제곱법을 이용하여 計算되며 같은 輕重率일 때 方程式은

$$Q = (D^T D)^{-1} D^T K \quad (2-13)$$

이다.

2.3 三角과 三邊의 結合調整

2.3.1 角方程式과 邊方程式

結合調整의 角方程式은 三角測量의 調整과 같은 方法으로 하며 調整式은 다음과 같다.

$$\sum v_i' + n = 0 \quad (2-14)$$

$\sum v_i'$; 方向에 대한 보정

n ; 관측각 $-(180^\circ + \epsilon)$, ϵ : 球過量

邊方程式은 sin 公式을 이용한다.

2.3.2 調整計算

單三角形에서 自然函數(natural function)를 사용하여 邊方程式을 다음과 같이 유도한다^(8,10,11).

$$\begin{aligned} (a + v_a) \sin \left(B + v_b - \frac{1}{3} \epsilon \right) \\ - (b + v_b) \sin \left(A + v_a - \frac{1}{3} \epsilon \right) = 0 \end{aligned} \quad (2-15)$$

여기서 $B' = B - \frac{1}{3} \epsilon$, $A' = A - \frac{1}{3} \epsilon$ 로 놓고, 전개한 다음 미소량을 무시하면

$$\begin{aligned} a \sin B' + a \delta_B v_b + \sin B' v_a - b \sin A' \\ - b \delta_A v_a - \sin A' v_b = 0 \end{aligned} \quad (2-16)$$

이 된다.

여기서 δ_A 와 δ_B 는 각 A' 와 B' 의 $1'$ 만큼 증가하는 sine의 자연함수값이다.

對數函數로 調整할 때는 觀測된 球過量은 邊方程式의 邊에 대한 arcsine의 보정값 C_i' 를 직접 사용할 수 있다.

$$C_i'(a) + \log a + \Delta a + \log \sin B + \delta_B v_B - C_i'(b) - \log b - \Delta b - \log \sin A - \delta_A v_A = 0 \quad (2-17)$$

여기서 $\Delta a, \Delta b$ 는 log 길이에 대한 補正값이다. 이들 값에 의하여 調整方程式을 이용하여 座標를 계산한다.

3. 觀測 및 結果값 解析

3.1 觀測結果

本 研究에서는 三角測量, 三邊測量, 三角測量과 三邊測量을 結合한 測量結果를 比較하기 위하여 그림 3.1과 같은 網을 形成하였다. 距離測量은 K & E의 Autoranger II로 6回測量하였고, 角測量은 WILD의 T 2 및 T 3를 使用하여 3對回 測量하였으며, 그 結果는 表 3.1과 같다.

表 3.1 邊長 및 角觀測값

| 邊 長 | | 角 觀 測 값 | | 角 觀 測 값 | |
|-------|---------------|---------|------------|---------|------------|
| 測線 | EDM 거리 (m) | 角名 | 觀 測 角 | 角名 | 觀 測 角 |
| 1-10 | 943.872 | b | 17-52-29.0 | n | 27-27-47.6 |
| 1-14 | 802.405 | c | 18-26-37.5 | o | 35-29-29.4 |
| 1-15 | 1356.531 | d | 10-05-16.0 | p | 40-01-23.0 |
| 3-10 | 653.954 | e | 58-14-24.2 | q | 43-59-38.3 |
| 3-15 | 1417.232 | f | 58-05-26.3 | r | 34-07-43.8 |
| 3-14 | 1018.288 | g | 52-25-38.7 | s | 42-50-19.5 |
| 3-16 | 1570.486 | h | 45-09-13.5 | t | 77-52-21.0 |
| 10- 1 | 943.872 | i | 8-25-35.0 | u | 51-43-50.6 |
| 10-14 | 542.725 | j | 35-31-20.1 | v | 82-56-03.2 |
| 10-15 | 781.848 | k | 46-31-49.7 | w | 99-18-08.7 |
| 10-16 | 1215.621 | l | 45-12-37.5 | a | 32-31-03.9 |
| 14-15 | 554.443 | m | 26-31-10.0 | x | 90-53-33.7 |
| 14-16 | 677.741 | | | y | 35-08-24.3 |
| 15-16 | 942.445 | | | | |
| 1-16 | 984.558 | | | | |

3.2 結果分析

各 測點의 座標값 계산은 四邊網(I, II, III, IV)과 有心網(V)으로 나누어서(그림 3.2) 各 網別로 三角, 三邊, 三角 및 三邊의 組合 計算값을 比較하였으며, 結果는 表 3.2, 表 3.3과 같다.

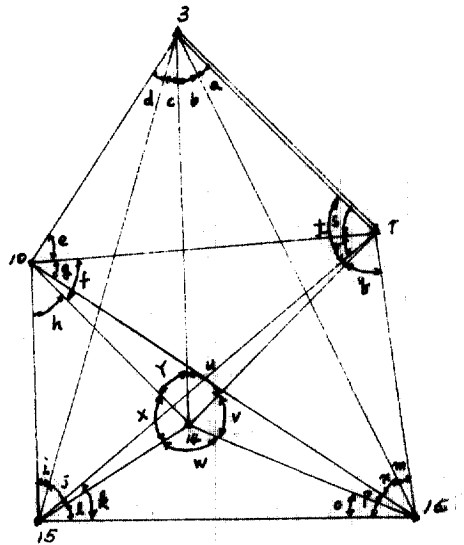


그림 3.1 實測略圖

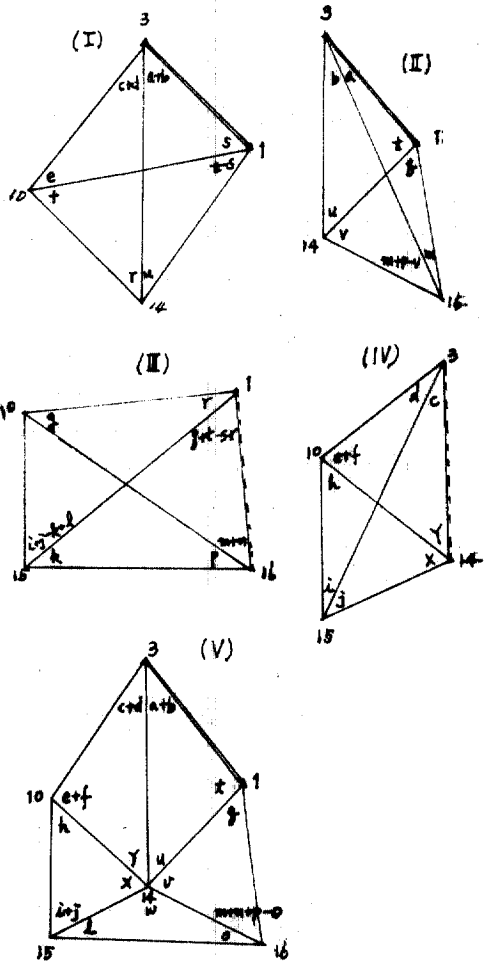


그림 3.2 四邊網 및 有心多角網 略圖

表 3.2 四邊形網(四角網)의 座標比較

| 網別 | 測點 | 角 | | 적요 | 三 邊 | | 적요 | 三角 + 三邊 | | 적요 |
|-----|----|-----------|------------|-----|-----------|------------|-----|-----------|------------|-----|
| | | X | Y | | X | Y | | X | Y | |
| I | 1 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1370.6000 | 기저 |
| | 3 | 8110.7240 | -2015.1870 | " | 8110.7240 | -2015.1870 | " | 8110.7240 | -2015.1870 | " |
| | 10 | 7492.4888 | -2228.1698 | 소구점 | 7492.4420 | -2228.1930 | 소구점 | 7492.4433 | -2228.1765 | 소구점 |
| | 14 | 7106.4614 | -1846.7176 | " | 7106.4660 | -1846.6650 | " | 7106.4499 | -1846.6924 | " |
| II | 1 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1370.6000 | 기저 |
| | 3 | 8110.7240 | -2015.1870 | " | 8110.7240 | -2015.1870 | " | 8110.7240 | -2015.1870 | " |
| | 14 | 7106.4442 | -1846.7240 | 소구점 | 7106.4810 | -1846.7020 | 소구점 | 7106.4708 | -1846.7198 | 소구점 |
| | 16 | 6716.3593 | -1292.5571 | " | 6716.3820 | -1292.4960 | " | 6716.3678 | -1292.5310 | " |
| III | 1 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1307.6000 | 기저 | 7700.8160 | -1370.6000 | 기저 |
| | 16 | 6716.3593 | -1292.5571 | " | 6716.3820 | -1292.4690 | " | 6716.3678 | -1292.5310 | " |
| | 10 | 7492.4537 | -2228.1956 | 소구점 | 7492.4740 | -2228.1680 | 소구점 | 7492.4525 | -2228.1909 | 소구점 |
| | 15 | 6710.6033 | -2234.8939 | " | 6710.6780 | -2234.9020 | " | 6710.6263 | -2234.9023 | " |
| IV | 3 | 8110.7240 | -2015.1870 | 기저 | 8110.7240 | -2015.1870 | 기저 | 8110.7240 | -2015.1870 | 기저 |
| | 14 | 7106.4614 | -1846.7176 | " | 7106.4660 | -1846.6650 | " | 7106.4499 | -1846.6924 | " |
| | 10 | 7492.4481 | -2228.1784 | 소구점 | 7492.4390 | -2228.2080 | 소구점 | 7492.4532 | -2228.1950 | 소구점 |
| | 15 | 6710.6468 | -2234.9151 | " | 6710.6210 | -2234.8830 | " | 6710.6333 | -2234.9340 | " |

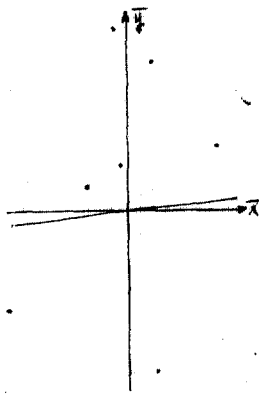
表 3.3 有心網의 座標比較

| 測點 | (A) | | (B) | | (C) | |
|----|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | X | Y | X | Y | X | Y |
| 1 | 7700.8160 | -1307.6000 | 7700.8160 | -1307.6000 | 7700.8160 | -1307.6000 |
| 3 | 8110.7240 | -2015.1870 | 8110.7240 | -2015.1870 | 8110.7240 | -2015.1870 |
| 10 | 7492.4351 | -2228.1849 | 7492.4450 | -2228.2290 | 7492.4265 | -2228.1745 |
| 14 | 7106.4453 | -1846.7295 | 7106.4740 | -1846.6840 | 7106.4538 | -1846.7111 |
| 15 | 6710.6746 | -2234.9194 | 6710.6250 | -2234.8990 | 6710.6205 | -2234.9481 |
| 16 | 6716.3484 | -1292.5705 | 6716.3700 | -1292.4710 | 6716.3520 | -1292.5565 |

表 3.4 四邊網에 대한 座標分析

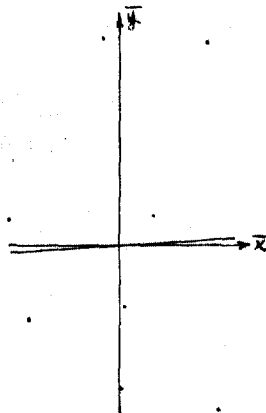
(M.S.E. 단위 : mm)

| 망 번호 | 점명 | A-B | | A-C | | B-C | |
|--------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | X | Y | X | Y | X | Y |
| I | 10 | -0.0032m | -0.0232m | -0.0045m | -0.0067m | -0.0013m | +0.0165m |
| | 14 | -0.0046 | +0.0526 | +0.0115 | +0.0255 | +0.0161 | -0.0274 |
| II | 14 | -0.0368 | +0.0220 | -0.0266 | +0.0042 | +0.0102 | -0.0178 |
| | 16 | -0.0227 | +0.0611 | -0.0085 | +0.0261 | +0.0142 | -0.0350 |
| III | 10 | -0.0203 | +0.0276 | +0.0012 | +0.0047 | +0.0215 | -0.0229 |
| | 15 | -0.0747 | -0.0081 | -0.0230 | -0.0084 | +0.0517 | -0.0003 |
| IV | 10 | +0.0091 | -0.0296 | -0.0051 | -0.0166 | -0.0142 | +0.0130 |
| | 15 | +0.0258 | +0.0321 | +0.0135 | -0.0189 | -0.0123 | -0.0510 |
| M.S.E. | | ±35.1356 | ±38.2775 | ±15.4504 | ±17.4004 | ±24.0673 | ±28.9318 |



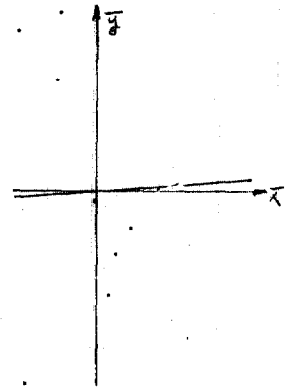
COVARIANCE= 54.4617
 CORRELATION= 0.0524
 REG. COEFF.
 A= 0.0576
 B= 17.7305
 MEAN
 X= -15.9250
 Y= 16.8125

(a) A-B



COVARIANCE= 9.9337
 CORRELATION= 0.0397
 REG. COEFF.
 A= 0.0477
 B= 1.4852
 MEAN
 X= -5.1875
 Y= 1.2375

(b) A-C



COVARIANCE= 19.2576
 CORRELATION= 0.0385
 REG. COEFF.
 A= 0.0430
 B= -16.0746
 MEAN
 X= 10.7375
 Y= -15.6125

(c) B-C

그림 3.3 座標相關度

表 3.5 測點 10에 대한 座標값 分析

(M.S.E. 단위: mm)

| 網 | 三角測量 (A) | | 三邊測量 (B) | | 三角과 三邊測量的 結合 (C) | |
|--------|-----------|------------|-----------|------------|------------------|------------|
| | X | Y | X | Y | X | Y |
| 평균좌표값 | 7492.4469 | -2228.1813 | 7492.4517 | -2228.1897 | 7492.4497 | -2228.1875 |
| I | +0.0083 | +0.0115 | +0.0097 | -0.0033 | +0.0064 | +0.0110 |
| II | -0.0068 | -0.0143 | -0.0223 | +0.0217 | -0.0028 | -0.0034 |
| IV | -0.0015 | +0.0028 | +0.0127 | -0.0183 | -0.0035 | -0.0075 |
| M.S.E. | ±7.6609 | ±13.1259 | ±19.3990 | ±20.2073 | ±5.5249 | ±5.8745 |

3.2.1 座標分析

三角測量方法(A), 三邊測量方法(B), 三角과 三邊測量 結合方法(C)들 사이의 座標를 比較하여 分析하면 A와 B의 座標차이, A와 C의 좌표차이, B와 C의 좌표차이는 各 網別로 표 3.4와 같으며 그 때의 相關度는 그림 3.3과 같다.

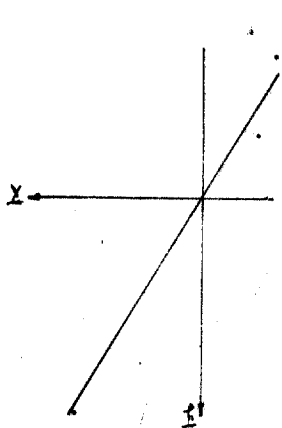
위 표와 그림에서 나타난 바와 같이 三角測量方法을 기준으로 하여 邊으로 調整한 값과 邊과 角을 結合한 方法으로 調整한 結果값을 比較分析한 結果, 三角測量과 三邊測量的 差가 三邊測

量과 三角 및 三邊을 結合方法보다 작은 값을 나타내므로 角條件에 대한 影響이 邊條件보다 크다는 것을 알 수 있다.

3.2.2. 測點의 精密度 分析

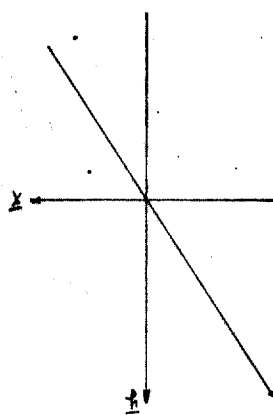
測點 10에 대한 各 測量方法을 比較分析하면 표 3.5 및 그림 3.4와 같다.

測點 10의 座標精密度는 X, Y 座標는 三角 및 三邊의 結合方法에서 各各 5.52 mm와 5.87 mm로 網型의 幾何學的인 條件에 대하여 3가지 方法中 가장 影響을 적게 받는 것으로 나타났다.



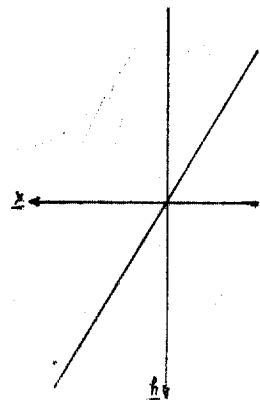
COVARIANCE= 94.245
 CORRELATION= 9.372301012E-01
 REG. COEFF.
 A= 1.605810189
 B= 0
 MEAN
 X= 0
 Y= 0

(A)



COVARIANCE= -374.1666667
 CORRELATION= -9.544898936E-01
 REG. COEFF.
 A= -9.942426926E-01
 B= 6.647475641E-02
 MEAN
 X= 3.333333333E-02
 Y= 3.333333333E-02

(B)



COVARIANCE= 53.08333335
 CORRELATION= 9.888912681E-01
 REG. COEFF.
 A= 1.739106695
 B= -2.463688933E-02
 MEAN
 X= 3.333333333E-02
 Y= 3.333333333E-02

(C)

그림 3.4 測點相關度

表 3.6 四邊網의 網別에 대한 各 邊長比較分析

(M.S.E. 단위 : mm)

| 망번호 | 선 명 | E-A | E-B | E-C | 망번호 | 선 명 | E-A | E-B | E-C |
|-----|--------|----------|----------|----------|-----|--------|----------|----------|----------|
| I | 3-10 | +0.0132 | +0.0089 | +0.0155 | II | 1-10 | -0.0089 | +0.0225 | -0.0046 |
| | 3-14 | -0.0075 | -0.0115 | -0.0288 | | 1-15 | -0.0806 | -0.0317 | -0.0696 |
| | 1-10 | +0.0130 | -0.0089 | +0.0075 | | 16-10 | -0.0031 | -0.0273 | -0.0134 |
| | 1-14 | -0.0320 | +0.0067 | -0.0236 | | 16-15 | -0.0906 | -0.0217 | +0.0562 |
| | 10-14 | +0.0608 | +0.0086 | +0.0271 | | 10-15 | -0.0311 | +0.0230 | -0.0070 |
| | M.S.E. | ±35.7775 | ±10.1183 | ±22.9549 | | M.S.E. | ±62.7709 | ±28.5321 | ±45.4211 |
| III | 1-14 | -0.0491 | -0.0070 | -0.0265 | IV | 1-10 | +0.0197 | +0.0012 | +0.0188 |
| | 1-16 | -0.0136 | -0.0081 | -0.0055 | | 3-15 | +0.0180 | -0.0029 | +0.0614 |
| | 3-14 | -0.0232 | +0.0095 | +0.0023 | | 14-10 | +0.0477 | +0.0369 | +0.0070 |
| | 3-16 | -0.0066 | -0.0145 | -0.0110 | | 14-15 | +0.0366 | +0.0157 | +0.0043 |
| | 14-16 | +0.0485 | +0.0084 | +0.0201 | | 10-15 | +0.0179 | +0.0015 | -0.0012 |
| | M.S.E. | ±37.1814 | ±11.0190 | ±17.7679 | | M.S.E. | ±34.0857 | ±20.1258 | ±10.2996 |

3.2.3 網別·邊長分析

各 網別로 邊長이를 계산하여 實測한 값과 比較하면 표 3.6, 표 3.7 과 같다.

邊長이 計算結果를 보면 三邊測量에서의 M.S.

E. 가 가장 적으므로 三邊測量의 邊長이 正確度가 좋다는 것을 알 수 있다.

表 3.7 有心網에 대한 各 邊長比較分析

| 線 名 | E-A | E-B | E-C |
|--------|----------|---------|----------|
| 3-10 | +0.0020 | +0.0000 | +0.0270 |
| 10-15 | +0.0292 | -0.0005 | -0.0216 |
| 15-16 | +0.0736 | -0.0005 | +0.0197 |
| 16- 1 | -0.0235 | -0.0042 | -0.0324 |
| 14- 1 | -0.0517 | -0.0001 | -0.0394 |
| 14- 3 | -0.0210 | -0.0004 | -0.0178 |
| 14-10 | +0.0497 | +0.0002 | +0.0135 |
| 14-15 | +0.0489 | -0.0002 | +0.0098 |
| 14-16 | +0.0485 | -0.0002 | +0.0186 |
| M.S.E. | ±46.3051 | ±1.5178 | ±25.3152 |

4. 結 論

本 研究에서 택한 對象地域에 關하여 三角測量, 三邊測量, 三角測量과 三邊測量を 結合한 調整方法으로 比較分析한 結果, 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 三邊測量에 依한 調整邊長이 다른 方法에 比하여 程度가 좋았다.

2) 三角과 三邊測量を 結合한 경우가 幾何學的인 條件의 影響을 가장 적게 받음을 알았다.

3) 角條件이 邊條件보다 結果값에 더 큰 影響을 주었다.

參 考 文 獻

1. Stipp, D.W., "Trilateration Adjustment", *Journal of the Surveying & Mapping Division, Vol. 22*

No. 4, pp.579~590, 1962.

2. Wolf, P.R., and Johnson, S.D., "Trilateration with Short range E.D.M. Equipment and Comparison with Triangulation", *Proceeding of A.S.C.M., Fall Convension*, pp.62~76, 1973.

3. Wolf, P.R., *Adjustment Computations 2nd ed.*, P.B.L. Publishing Co., pp.117~142, 1980.

4. 千葉忠二, 測量結果의 테-타처리方法, 오-ム社, pp.6~30.

5. 柳福模 外 3人, "水平位置決定에 있어서 3변측량의 位置誤差에 관한 研究", 1984.9, 大韓土木學會 論文集, 第4卷 第3號, pp.85~91.

6. Department of the Army, "Surveying Computer's Manual", pp.238~244, 1984.

7. Murchison, D.E., *Surveying and Photogrammetry*, November, Butterworths, pp.13~18, 1977.

8. James, R.B., Adjusting Radial Surveys, *Journal of the Surveying & Mapping Division*, pp.157~166, 1972.

9. Dereny, E.E., Chrzanowski, I.A., "Pre-Analysis of Trilateration Nets for Engineering", *Journal of the Surveying & Mapping*, pp.73~93, 1968.

10. Hirvonen, R.A., *Adjustment by Least Squares in Geodesy and Photogrammetry*, Frederick Ungar Publishing Co., New York, pp.20~58, 1979.

11. Mikhail, E.M., *Analysis & Adjustment of Survey Measurements*, Van Nostrand Reinhold Company, pp.13~87, 1981.

(接受 : 1984. 11. 25)