

角觀測과 寫眞測定理論을 組合한 施設物測量技法에 관한 研究

Study on Facilities Measuring Method by Combination of Angle Measurements and Photogrammetric Theories.

柳	福	模*
Yeu,	Bock	Mo
李	在	璣**
Lee,	Jae	Ki
楊	寅	台***
Yang,	In	Tae
朴	弘	祺****
Park,	Hong	Gi

Abstract

It is a matter of great importance that the elements of error in measurements be minimized in various surveying methods. It is also essential in photogrammetry to reduce the errors of ground control coordinates as their influence on the accuracy of the results is enormous, especially when the object distance is increased.

In this paper, the techniques of surveying and photogrammetry were appropriately combined to obtain three-dimensional coordinates of considerable accuracy. By observing only the related angles with theodolite were obtained to prove its effectiveness. The major advantage of the presented method is its simplicity and accuracy as only the measurements by theodolite is required.

要 旨

一般測量方法에 있어서, 높은 精度를 얻기 위해서는 誤差要素들을 最小限으로 줄이는 것이 큰 課題이다. 또한 寫眞測量에서도 基準點測量 成果는 結果값에 큰 影響을 주며, 撮影距離가 먼 境遇 要求精度에 미치지 못하는 경우가 많다.

이에 本研究에서는 角觀測과 寫眞測量理論을 組合함으로써, 오직 theodolite 만의 角測定으로 높은 精度의 三次元 座標값을 얻을 수 있는 方法을 提示하였으며, 그 效用性을 밝혔다. 本方法의 主된 長點은 오직 theodolite 만이 測定을 위해 要求되며, 간단히 計算된다는 點이다.

* 正會員·延世大學校 工科大學土木工學科 教授

** 正會員·忠北大學校 工科大學 助教授

*** 正會員·江原大學校 工科大學 專任講師

**** 延世大學校 大學院 博士課程

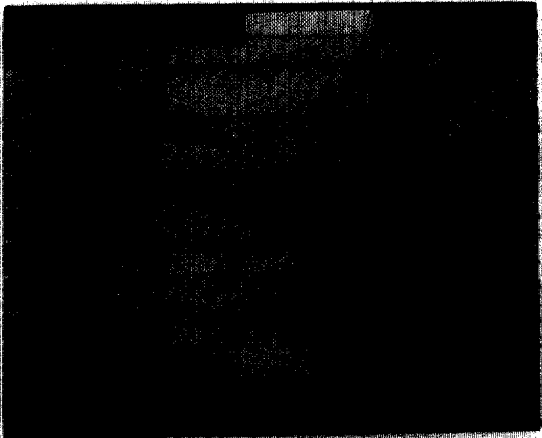
1. 序 論

큰 施設物인 高層建物, 댐, 橋梁 등은 多様な 原因에 의해 絶對的인 또는 相對的인 面에서 작은 變形을 나타낸다. 예를 들면, 바람의 힘 또는 중의 흔들림에 의한 教會탑의 움직임, 서로 다른 地質構造위에 建設된 댐의 變位와 많은 交通量, 溫度變化, 地震 등에 의한 橋梁의 變形 등을 들 수 있다. 安全度面에서 이들 變形의 特性을 알기 위해 또는 다음 設計의 資料收集을 위해 變形의 크기와 方向을 決定하여야 하며, 이를 위해서는 定期的인 施設物測量이 수행되어야 한다⁽¹⁾.

이와 같은 三次元 座標을 얻기 위한 施設物測量方法으로 三角水準測量을 使用하여 왔으며, 최근에는 近接寫眞測量方法의 活用이 많아지고 있다. 測定用寫眞機에 의한 近接寫眞測量에 있어서, 施設物의 三次元 位置座標은 一般的으로 $\pm 5 \text{ mm}$ 이내의 精度를 要求하고 있다. 그러나 큰 施設物의 全面을 寫眞에 나타낼 境遇, 寫眞縮尺은 작아지므로 要求精度에 못미치게 된다.

이에 本 研究에서는 角觀測과 寫眞測量理論을 組合함으로써, 오직 theodolite 만의 角測定으로 높은 精度의 座標값을 얻을 수 있는 施設物測量技法을 提示하고, 實驗을 통해 그 效用性を 밝히는데 目的이 있다. 本 技法은 Illinois 大學에서 Abdel-Aziz 와 Karara(1974)에 의해 開發된 方法의 擴張으로서, Abdel-Aziz 에 의해 發表된 論文⁽²⁾을 바탕으로 올바른 公式誘導를 하였다. 座標解析 方法은 theodolite 測定으로부터 解析의 으로 形成된 假想의 寫眞面인 theodolite image 를 使用하여 數學的 寫眞測定모델에 適用한다. 따라서 오직 theodolite 만의 角測定이 要求되며, 탁상용 계산기에 의해 計算되어진다.

實驗對象物로 약 15 m 높이의 延世大學校工大 벽面을 利用하였으며, 攝影距離 약 25 m, 基線 약 12 m에서 1"읽기 Wild T2 theodolite 와 20"읽기 Huji TH-32 theodolite 로서 水平 및 垂直角을 測定하였고, Wild P31 地上測定用寫眞機로 寫眞攝影하였다. 標定點으로는 20 개의 target 을 벽면에 附着시켰으며, 유리창의 모서리點 4 개를 target 으로 代用하여 標定點 전체에 생기



*點은 theodolite 觀測時 消失된 點

그림 1-1 實驗對象物空間의 標定點配置

는 誤差를 調査하였다(그림 1-1 참조).

2. 從來方法에서의 誤差要素

2-1. 角觀測에서의 誤差

過失을 除外한 定誤差 中, 鉛直軸誤差를 除外한 視準軸誤差, 水平軸誤差, 回轉 및 視準軸의 偏心に 의한 誤差 등은 망원경의 正, 反觀測 및 尤표읽음값의 平均에 의해 消去할 수 있다. 그러나 致心誤差, 視準誤差 등 不定誤差는 消去할 수 없다.

2.1.1. 致心誤差

theodolite 설치 時 생기기 쉬운 偏心은 角觀測값에 致心誤差를 일으킨다. 致心誤差는 偏心距離에 比例하고 視準距離에 反比例하므로 특히 視準距離가 가까운 境遇 致心誤差에 대해 珍중히 考慮하여야 한다⁽³⁾. 致心誤差는 다음 式과 같다.

$$\varepsilon = \rho \frac{2e}{a}$$

$$m^2 = \frac{\rho^2 e^2}{3a^2} \left(\frac{1+K^2}{2} - K \cos \alpha \right) \quad (2-1)$$

여기에서 ε 는 致心誤差, ρ 는 206265", a, b 는 두 視準點까지의 各各의 距離, e 는 偏心距離, m 은 致心平均제곱誤差, K 는 a/b , α 는 觀測交角이다.

視準距離와 測定角에 따른 致心誤差를 그림으로 나타내면 그림 2-1, 2-2와 같다⁽⁴⁾.

그림 2-1, 2-2로부터 致心誤差는 視準距離가

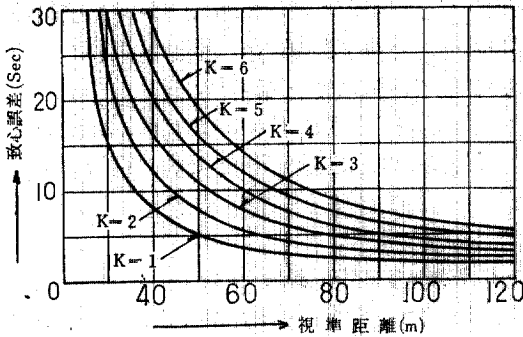


그림 2-1 視準距離와 致心誤差와의 關係

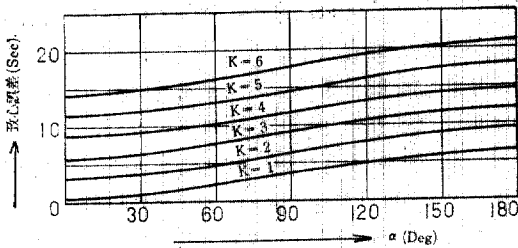


그림 2-2 測定角 (cos α)와 致心誤差와의 關係 (단, a=100m)

될수록 작아지며, 觀測交角이 클수록 커짐을 알 수 있다.

2.1.2. 視準誤差

視準誤差의 크기는 視準物의 크기, 視準點까지의 距離, 망원경의 倍率 및 十字線의 굵기 등에 의해 달라진다.

岡積滿의 實驗에 의한 視準距離와 視準誤差와의 關係는 그림 2-3 과 같다⁽³⁾.

그림 2-3 으로부터 視準誤差는 視準距離가 증

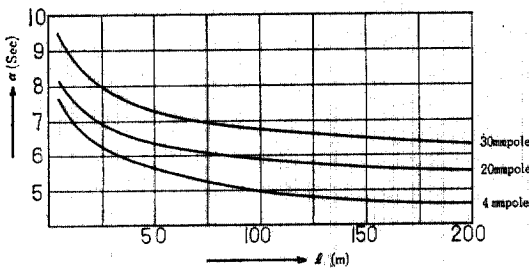


그림 2-3 視準距離(l)과 視準誤差(α)와의 關係

가함에 따라 감소한다는 것과 視準 pole 이 가늘수록 작다는 것을 알 수 있다.

FIG와 ISO의 提案에 따르면 30m 이내에서는 연필심을, 20~1,000m에서는 10×10cm의 測量用 target 을, 200~1,000m에서는 range rods 를 使用토록 권하고 있다⁽⁵⁾.

2-2. 距離觀測에서의 誤差

2.2.1. 줄자測定の 誤差

줄자에 의한 距離測量에서는 觀測값으로부터 錯誤를 除外하고 定誤差를 補正하여 偶然誤差만 들어있는 觀測값으로부터 精度를 구한다.

$$L = S + C_{A1} + C_t + C_i + C_s + C_r \quad (2-2)$$

여기에서 L은 定誤差를 補正한 精確한 距離, S는 觀測길이, C_{A1}은 定數補正, C_t는 溫度補正, C_i는 傾斜補正, C_s는 처짐補正, C_r는 張力補正이다.

全長 L, 그의 平均계급誤差를 M, 使用한 줄자의 길이를 l이라 하면, 精度 1/a 은 다음 식과 같다.

$$\frac{1}{a} = \frac{M}{L} = \sqrt{n} \cdot m \cdot \frac{1}{L} = \sqrt{\frac{L}{l}} \cdot m \cdot \frac{1}{L} \quad (2-3)$$

따라서 줄자 1회 觀測의 誤差 m 은

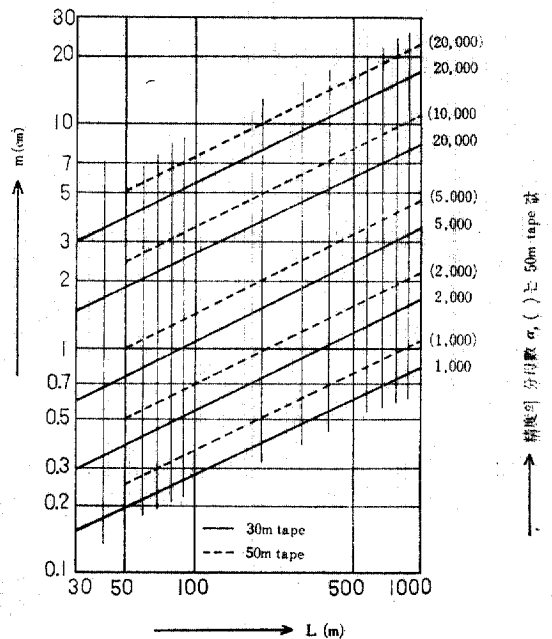


그림 2-4 줄자觀測에서의 誤差關係

$$m = \frac{\sqrt{LL}}{a} \quad (2-4)$$

이 되며, 이關係를 그림으로 나타내면 그림 2-4와 같다⁽³⁾.

2.2.2. E.D.M. 觀測에서의 誤差

一般的으로 光波距離測定機의 測定精度는 5~10 mm 이나, 施設物測量과 같은 短距離를 對象으로 할 境遇 誤差는 크게 나타난다.

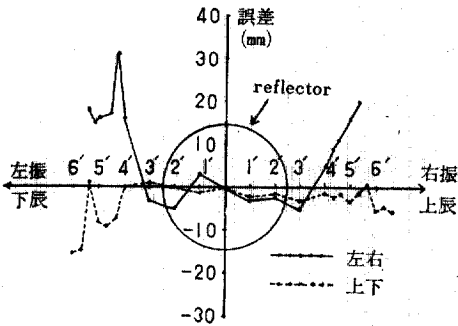


그림 2-5(a) 50 m 距離에서의 照準誤差

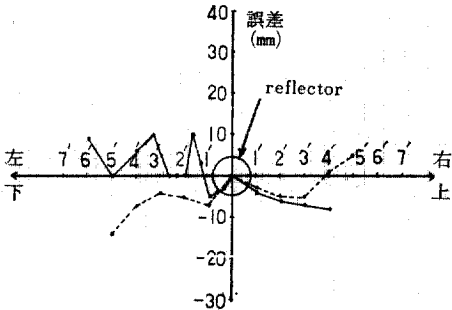


그림 2-5(b) 100 m 距離에서의 照準誤差

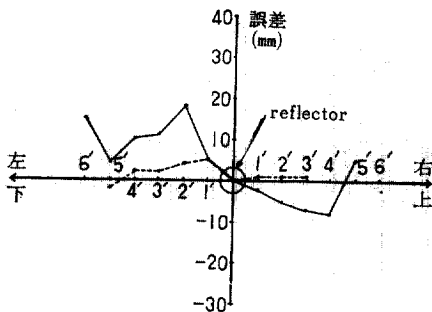


그림 2-5(c) 250 m 距離에서의 照準誤差

照準誤差는 放射된 光 beam의 中心을 基準으로 한 reflector의 角度位置와 距離測定誤差와의 關係를 나타내며, 小泉俊雄가 SDM-3를 使用하여 250 m 이하의 短距離에서 實驗한 結果는 다음 그림 2-5(a), (b), (c)와 같다⁽⁶⁾.

이 외의 誤差要素로 Cyclic Error, Zero Error, Pointing Error, 電壓變化에 의한 誤差, 雜光 (noise)의 影響에 의한 誤差 등을 고려할 수 있다.

2-3. 寫眞測量에서의 誤差

寫眞測量에서 絕對座標의 精度는 다음 要素들의 函數로 나타낼 수 있다⁽⁷⁾. 첫째, 使用된 寫眞機에서의 초점거리, 寫眞의 크기와 像點 (image point) 誤差의 函數이며, 둘째로는 圖化機에서의 읽기誤差 (reading error), Pointing error와 內部相互 및 絕對標定因子들의 誤差의 函數이고, 셋째, 攝影點配置에 關한 것으로서 對象物에 대한 外部標定因子들의 函數로 나타내어진다.

이 變數들은 대응하는 標定點에 대한 像點誤差의 分布, 크기와 變形상태를 決定하며, 基準點測量의 精度는 絕對座標 전체의 精度를 좌우한다.

3. 本 研究에서의 座標解析理論

3-1. Theodolite Image

假想의 寫眞面인 theodolite image는 theodolite에 의해 形成되는 假想 image로서, 첫째 假想寫

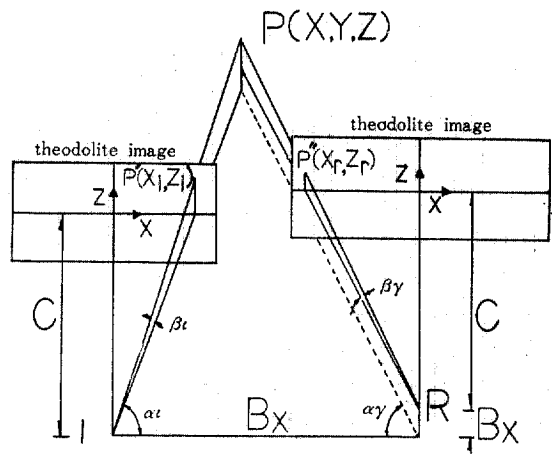


그림 3-1 水平 및 垂直角 α, β 와 theodolite image와의 關係

眞機의 光軸은 鉛直方向과 直角인 동시에 攝影 基線에 直角이고, 둘째 假想寫眞機의 投影中心은 theodolite의 水平 및 垂直軸의 交點과 일치하며, 또한 假想寫眞機의 초점거리는 임의의 값 C 와 같다는 세가지 條件을 滿足하는 假想 image이다(그림 3-1 참조).

theodolite image 座標 x, z 와 測定된 水平 및 垂直角 α, β 와의 關係式은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_l &= C \cdot \tan(90^\circ - \alpha_l) \\ x_r &= C \cdot \tan(\alpha_r - 90^\circ) \\ z_{l,r} &= C \cdot \tan \beta_{l,r} / \cos(90^\circ - \alpha_{l,r}) \end{aligned} \quad (3-1)$$

式 (3-1)과 같이 theodolite image 座標값들은 精密座標測定機에 의한 像座標로부터의 變換이 필요하지 않으며, 焦點距離, 畫面크기, 렌즈 歪曲, 鮮明度 등 寫眞機의 制約條件이 없다.

3-2. 相互標定

相互標定에서 縱視差를 消去하는 方法에는 投影中心을 연결하는 方法($\kappa_1, \varphi_1, \kappa_2, \varphi_2, \omega_2$ 의 標定因子)과 左側의 寫眞을 고정시키는 方法($b, b_s, \kappa, \varphi, \omega$ 의 標定因子)이 있다⁽⁸⁾. 두번째 方法을 適用하는 境遇, 角觀測으로부터 얻어진 두개의 theodolite image의 x 軸은 基線에, z 軸은 鉛直軸에 各各 平行하므로 두개의 image는 同一 垂直平面上에 있게 된다. 따라서 廻轉因子 κ, φ, ω 와 y 軸의 移動量 B_y 는 0이 된다.

投影中心의 높이차 B_z 는 직접길이測定이나 水準測量으로 얻을 수도 있으나, 一般적으로 길이測定은 theodolite의 垂直 및 水平軸의 交點을 찾기 어렵고, 精密水準測量을 해야 하는 어려움이 있다.

이에 本 研究에서는 두개의 投影中心과 한개의 標定點은 同一平面上에 있다는 共面條件(Coplanarity Condition)을 使用하여 間接적으로 구한다.

左側 image에서 x_l, z_l , 右側 image에서 x_r, z_r 의 像座標를 갖는 標定點에 관한 共面條件은 式 (3-2)와 같다.

$$\begin{vmatrix} B_x & 0 & B_z \\ x_l & C & z_l \\ x_r & C & z_r \end{vmatrix} = 0 \quad (3-2)$$

$$\text{즉 } C \cdot B_x(z_r - z_l) + C \cdot B_z(x_l - x_r) = 0 \quad (3-3)$$

여기에서 B_x 는 두 攝影點사이의 水平距離이

다.

式 (3-3)을 最小제곱法으로 計算하여 B_x/B_z 比를 구하면 式 (3-4)와 같이 된다.

$$\frac{B_x}{B_z} = \frac{\sum(z_l - z_r)}{\sum(x_l - x_r)} \quad (3-4)$$

3-3. 絕對座標 計算

5개의 相互標定要素中 B_x 外的 모든 要素가 0을 갖는다는 것은 두개의 image가 同一 垂直平面上에 있고, 各各의 寫眞軸은 서로 平行하다는 것을 의미한다.

이 境遇 두 image의 座標 x_l, z_l, x_r, z_r 과 標定點의 絕對座標 X, Y, Z 와의 關係는 다음 그림 3-2와 같다⁽⁹⁾.

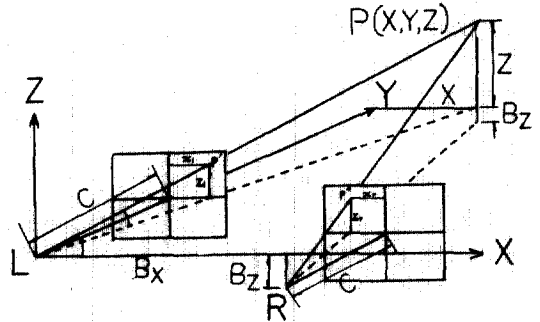


그림 3-2 theodolite image 座標와 標定點座標와의 關係

그림 3-2로부터 x_l, z_l, x_r, z_r 과 X, Y, Z 와의 關係式을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= x_l \frac{B_x}{x_l - x_r} \\ Y &= C \frac{B_x}{x_l - x_r} \\ Z_l &= z_l \frac{B_x}{x_l - x_r} \\ Z_r &= z_r \frac{B_x}{x_l - x_r} + B_z \\ Z &= (z_l + z_r) / 2 \end{aligned} \quad (3-5)$$

여기에서 B_x 는 初期값 \bar{B}_x 로부터 精確한 길이를 아는 基準點들의 座標를 얻고 이 座標값으로부터 길이를 計算하여 다음 公式로 精確한 B_x 를 얻는다.

$$B_x = \bar{B}_x \times \frac{\text{True length}}{\text{Computed length}}$$

이 B_x 로부터 精確한 B_z 를 얻어 다시 反復處

理하여 X, Y, Z 값을 계산하며, 이들 값의 原點은 左側 image 의 投影中心 L 이다.

4. 觀測값의 結果分析

計算過程에 관한 Flow diagram 과 1"읽기 theodolite 에 의한 觀測값 및 結果값은 부록에 실었다.

4-1. Theodolite Image

theodolite image 座標는 寫眞座標와 같이 精密座標測定機가 필요하지 않으며, 觀測된 水平 및 垂直角으로부터 얻어진다. 따라서 焦點距離, 畫面크기, 鮮明度 등에 대한 制約條件이 없다. 寫眞座標에서의 像點誤差는 一般的으로 $10 \mu\text{m}$ 이 내이며, 精密觀測인 境遇 $5 \mu\text{m}$ 정도의 誤差가 생긴다⁽¹⁰⁾. theodolite image 座標의 精度는 실제 寫眞에서는 생각할 수 없는 작은 값으로서, 1" 읽기 theodolite 에 의한 x, z 좌표에서는 100 mm 焦點距離에 대해 角과 距離와의 精度關係式으로부터 약 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 의 精度가 計算된다.

4-2. 觀測結果의 精度

結果값 處理에서, 標定點의 位置誤差는 Z 座標에서의 交差 V_z (부록 (3) 참조)의 R.M.S.E.로 計算하였다.

표 4-1 1"읽기 theodolite 에 의한 標定點의 位置誤差 ($H=25 \text{ m}$, $B_s=12 \text{ m}$)

方法	標定點 target을 붙인 境遇	유리창 모서리를 붙인 境遇	target 및 유리창 모서리를 함께 標定點으로 사용한 境遇
本 研究에 의한 方法	0.390 mm	0.694 mm	0.554 mm
三角水準測量에 의한 方法	0.410 mm	0.548 mm	0.572 mm

표 4-2 20"읽기 theodolite에 의한 標定點의 位置誤差 ($H=25 \text{ m}$, $B_s=12 \text{ m}$)

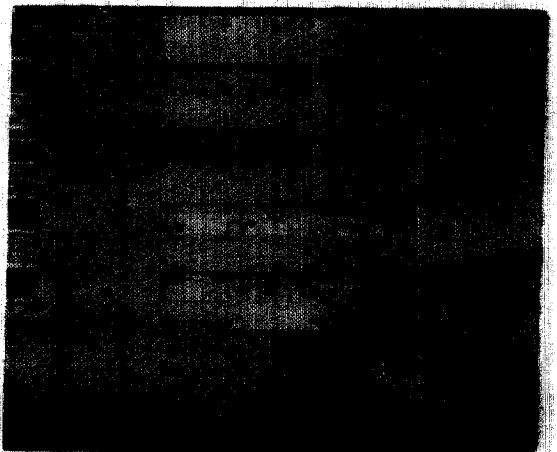
方法	標定點 target을 붙인 境遇	유리창 모서리를 붙인 境遇	target 및 유리창 모서리를 함께 標定點으로 사용한 境遇
本 研究에 의한 方法	5.205 mm	6.925 mm	5.309 mm
三角水準測量에 의한 方法	5.351 mm	6.316 mm	5.434 mm

표 4-1, 4-2에서, 유리창 모서리를 標定點으로 利用한 境遇를 제외하고는 本 研究의 座標

解析方法이 三角水準測量보다 精確하였으며, 특히 target 을 붙인 경우 표 4-1에서 약 5%, 표 4-2에서 약 3%의 精度向上을 나타내었다. 유리창 모서리의 角觀測에서는 視準誤差가 크며 本 研究에서의 座標解析方法은 最小제곱法에 의해 모든 image 座標들이 B_s 에 相關關係를 가지므로 三角水準測量보다 誤差가 컸다.

撮影距離 25 m, 基線長 12 m 에서 焦點距離 약 100 mm 인 Wild P 31 地上測定用寫眞機로 撮影한 結果, 像座標에서의 誤差가 左側寫眞에서 $\sigma_x = 13.05 \mu$, $\sigma_z = 7.73 \mu$, 右側寫眞에서는 $\sigma_x = 7.8 \mu$, $\sigma_z = 6.65 \mu$ 를 나타냈으며, 相互標定時 5.9 μ 의 縱視差를 나타냈다(그림 4-1 참조).

이 寫眞으로부터 絕對座標를 얻기 위해, 基準點座標로서 theodolite image 에 의한 方法과 三角水準測量方法을 各各 적용한 結果 전체 標定點에 나타난 R.M.S.E.는 표 3-3과 같다.



*點은 theodolite 觀測時 消失된點
그림 4-1 P31에 의한 直角水平寫眞

표 4-3 寫眞測量의 絕對座標값에서의 R.M.S.E.

方法	精度	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔT
本 研究方法을 적용한 境遇	mm	6.43	5.98	1.17	8.86
三角水準測量에 의한 境遇	mm	9.72	10.19	1.67	14.18

여기에서 $\Delta T = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$ 이다.

표 4-3에서 本 研究方法에 의한 座標값을 基準點으로 使用한 境遇가 三角水準測量에 의한 方法보다 精度가 좋았으나 여기에 대해서는 앞

으로 충분한 實驗을 통해 精確한 結論을 내릴 수 있으리라 思料된다.

4-3. 從來方法과의 比較考察

4.3.1. 三角水準測量과의 比較

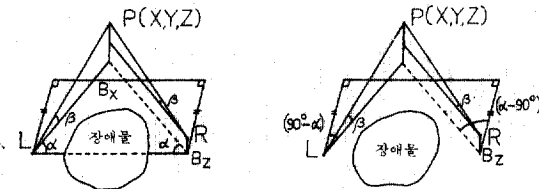
本 研究에서의 解析方法과 三角水準測量에 의한 座標값의 精度는 偏心誤差와 視準誤差가 없다고 假定할 때 水平 및 垂直角과 B_x, B_z 의 函數가 된다. 따라서 두 方法에서 座標값의 精度差는 B_x 와 B_z 의 精度에 依存하게 된다.

theodolite에 의한 解析方法은 相互標定으로부터 B_z 의 값이 계산되며, $(n-1)$ 개의 剩餘값들에 의한 最小제곱法으로 B_x 의 값이 精確하게 決定되어진다. 그러나 三角水準測量的 境遇 B_x 값은 測定하기 어려울 뿐 아니라 그 測定값은 限定된 精度의 것이다. 一般測量에서 B_x 의 값은 一般的으로 精確성을 要할 境遇 Substance bar 또는 E.D.M.을 使用한다. Substance bar는 觀測하는 동안 bar軸이 水平이어야 하며, bar의 中間點과 theodolite 測點은 bar軸에 直角인 垂直平面上에 있어야 한다는 두가지 條件이 滿足되어야 하며, E.D.M. 역시 프리즘과 E.D.M.軸은 垂直平面上에 있어야 하며 地形條件에 따라 많은 補正을 하여야 한다. 또한 短距離에서는 精度가 낮다는 問題點이 있다.

本 研究에서의 theodolite image에 의한 方法은 B_x, B_z 를 直接觀測하지 않으므로 B_x, B_z 觀測에서의 誤差를 크게 줄일 수 있다. 또한 地形條件에 의해 두 theodolite 測點이 서로 視通되지 않을 境遇, 그림 4-2에 나타내는 바와 같이 支距法에 의해 B_x 를 求解야 하는 一般測量方法은 水平角測定 및 B_z 觀測에 큰 誤差를 內包하게 된다.

4.3.2. 寫眞測量方法과의 比較

寫眞測量方法에서는 寫眞機와 精密座標測定機



三角水準測量的 境遇 本 研究方法의 境遇
 그림 4-2 測點이 서로 觀通안되는 境遇

및 攝影點配置에 의해 絕對座標의 精度에 影響을 주며, 理論的인 位置誤差式은 다음과 같이 나타내어 진다⁽¹¹⁾.

$$M_x = \frac{H}{C} \sigma_x$$

$$M_z = \frac{H}{C} \sigma_z$$

$$M_y = \sqrt{2} \frac{H}{C} \frac{H}{B} \sigma_x \quad (4-1)$$

本 研究에서의 座標解析方法과 寫眞測量方法에서의 絕對座標의 精度를 像座標의 精度에 관한 函數로만 가정하면 1"읽기 theodolite에 의한 像座標의 精度는 $\pm 0.5\mu$ 이므로, 焦點距離 약 100 mm인 P31으로 撮影한 寫眞의 像座標誤차가 $\pm 5\mu$ 이라면 結果的으로 寫眞測量에 의한 位置誤차는 式 (4-1)에 의해 本 解析方法의 10배가 된다.

本 研究에서의 觀測結果는 寫眞에서의 像座標誤차가 平均 8.81 μ m이었으며, 이때 絕對座標의 Z軸의 誤차는 theodolite image에 의한 方法이 0.390 mm, 寫眞測量方法이 1.17 mm이었다.

5. 結論

Theodolite에 의한 角觀測方法과 data處理를 위해 寫眞測定理論을 組合한 本 研究의 座標解析技法은 1"읽기, 20"읽기 theodolite로 實驗한 結果, 三角水準測量에 비해 精度가 좋음이 立證되었으며, 다음과 같은 特徵을 찾을 수 있었다.

1. 本 解析方法은 像座標誤차가 매우 작으므로 寫眞測量方法에 비해 位置誤차가 相對的으로 작으며, 計算過程 또한 매우 簡略하다.
2. 三角水準測量方法에서 要하는 B_x, B_z 의 길이 測定이 필요하지 않으며, 誤차는 既知線의 길이 觀測 精度에만 影響을 받는다.
3. 測定對象物이 크거나, 두 theodolite 測點이 直接 視通이 안되는 施設物測量에 있어서, 本 研究方法은 그 效用性이 매우 크다 하겠다.

參考文獻

1. Richardus, P. and Allman, J.S., *Project Surveying*, North-Holland Publishing Company, 1977. pp. 404~433.

2. Abdel-Aziz, Y.I., "An Application of Photogrammetric Techniques to Building Construction," *P.E. & R.S., Vol. 45, No. 4, 1979, pp. 539~544.*

3. 岡積 滿, 測量の誤差計算, 森北出版株式會社, 1971, pp. 99~102.

4. 千葉忠二, 測量のための最小 2乘法, 山海堂, 1970, pp 22~60.

5. Van den Berg, J., "Some Methods and Instruments Used for Measurements in the Building Industry," *FIG XVI, International Congress, Montreux, Switzerland, 1981, pp. 601.5/1-22.*

6. 小泉俊雄, "工事用測量に光波測距儀を用いる際の諸問題", 測量 27卷, 12號, 1977, pp. 19~24.

7. Abdel-Aziz, Y.I., "Accuracy of the Normal Case of Close-Range Photogrammetry," *P.E. & R.S., Vol. 48, No. 2, 1982, pp. 207~213.*

8. 柳福模, "直交公式을 利用한 空間標定の 解析에 關한 研究", 大韓土木學會誌, 24卷, 3號, 1976, pp. 75~82.

9. Wolf, P.R., *Elements of Photogrammetry*, McGraw-Hill, 1974, pp. 390~408.

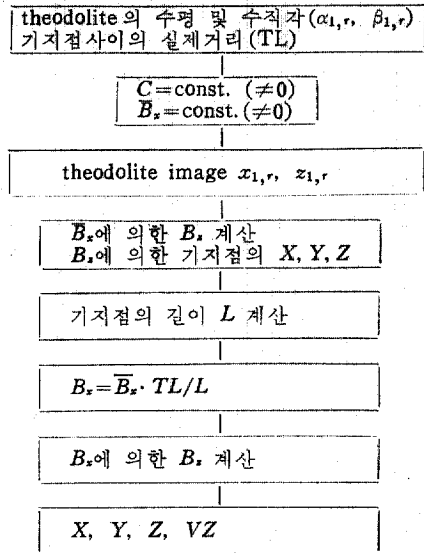
10. 上谷良吉, "解析寫眞測量の本質とその展望", 測地

學會誌, 11卷 2號, 1965, pp. 48~82.

11. Marzan, G.T., *Rational Design for Close-Range Photogrammetry, Thesis of Ph. D., Illinois Univ., 1976.*

<부 록>

1) 計算過程의 Flow Diagram



2) 1"읽기 theodolite에 의한 觀測角 및 theodolite images

NO	Theodolite Angles (° ' ")				Theodolite Images (mm)			
	Left Station		Right Station		Left Image		Right Image	
	H	V	H	V	X	Z	X	Z
1	75 15 55.8	32 51 41.4	77 33 54.3	33 27 29.6	26.2988772	66.794166	-22.0503215	67.6712303
2	68 42 46.8	29 44 11.2	84 48 47.0	31 45 59.7	38.9622349	61.3060127	-9.07773845	62.176523
3	60 33 12.9	30 8 59.6	94 40 21.9	33 57 31.9	56.4538867	66.701007	8.17361669	67.5710243
4	59 16 19.3	22 55 3.2	96 41 18.8	26 25 51.1	59.4417065	49.182902	11.7270506	50.0482161
5	68 36 56.4	21 19 47.1	84 47 45.8	23 5 18.1	39.1580319	41.9352055	-9.1076544	42.8060471
6	76 28 17.8	25 30 42.7	76 41 44.1	25 55 24.0	24.060286	49.0848693	-23.6471378	49.9482825
7	92 24 49.8	23 34 41.7	62 16 44.8	21 31 32.9	-4.2154282	43.6824865	-52.5476898	44.5571745
8	93 1 51.6	18 56 1.5	61 58 39.1	17 16 13.6	-5.2950333	34.351531	-53.2212636	35.2188962
9	76 32 29.2	18 32 20.9	76 37 1.2	18 58 32.1	23.9313858	34.482446	-23.7920081	35.3449059
10	68 29 3.8	14 23 25.9	84 57 14.8	15 49 27.4	39.4225253	27.5798423	-8.82957632	28.453187
11	59 13 8.8	16 10 48.5	96 42 43.8	18 58 55.1	59.5667648	33.7726278	11.7688285	34.6349634
12	93 15 29.8	11 7 4.2	61 43 49.0	10 15 34.7	-5.6929056	19.6833638	-53.7763062	20.5515486
13	76 59 49.8	7 32 50.1	75 52 31.4	7 59 16.5	23.0920279	13.5978175	-25.1639334	14.470047
14	68 47 32.2	7 51 47.9	84 47 27.5	8 52 30.9	38.8029501	14.8141639	-9.11660012	15.680086
15	59 45 53.1	6 39 18.5	95 45 4.8	8 8 28.3	50.2837824	13.5050925	10.0718212	14.3778447
16	59 42 28.0	2 57 0.2	95 49 44.6	3 53 32.7	58.4170732	5.9682544	10.2088669	6.8303834
17	65 18 16.1	1 43 31.9	88 59 9.4	2 23 31.2	45.9854046	3.3157839	-1.7700457	4.1779091
18	77 0 57.3	3 23 38.8	75 51 54.6	3 51 41.2	23.0575605	6.0863942	-25.1829052	6.9604508
19	61 6 54.7	1 40 12.7	94 14 34.2	2 23 40.2	55.1683701	3.3301617	7.41870648	4.1931171
20	68 0 33.2	1 46 11.9	85 46 45.1	2 23 50.8	40.3839006	3.3326362	-7.38005029	4.1981599
21	64 26 37.0	29 45 58.9	89 58 6.2	32 43 20.8	47.8184177	63.3951025	-0.5517183	64.2542008
22	64 25 0.1	23 36 7.2	90 0 46.4	26 14 40.8	47.8761512	48.4424597	.02249531	49.3029723
23	64 28 39.7	16 53 36.4	89 57 41.1	19 2 33.0	47.7453497	33.6538485	-.06734068	34.5157613
24	64 29 6.3	9 41 18.1	89 58 19.4	11 11 19.2	47.7295148	18.9173563	-.04877229	19.7799805

3) 本 研究方法에 의한 座標結果값

Coordinates (Meter)

NO	X	Y	Z	VZ
1	6.52716649	24.8191831	16.5781796	-8.26373696E-04
2	9.73235332	24.9789401	15.3138874	-5.90439886E-04
3	14.0313973	24.8546169	16.5779825	6.34238124E-04
4	14.949141	25.1492459	12.3695121	-7.66161829E-04
5	9.73551958	24.8621269	10.4258119	3.44064087E-04
6	6.05189778	25.1530584	12.3465063	-3.21038067E-04
7	-1.04660147	24.8278805	10.8455919	-3.12682241E-04
8	-1.32578221	25.0382225	8.60117225	-3.19037586E-04
9	6.01746109	25.1446412	8.67049163	-8.64639878E-06
10	9.80403766	24.8691265	6.85903556	-3.39386985E-04
11	14.9544908	25.1054273	8.47858214	3.60768288E-04
12	-1.42074316	24.95638	4.91216192	1.86312944E-04
13	5.74232629	24.8671373	3.3814103	-4.46978956E-05
14	9.71692334	25.0417128	3.70971434	1.20839104E-05
15	14.5067355	24.889832	3.36158121	-3.72723676E-04
16	14.5410439	24.8917707	1.48559701	1.43647194E-05
17	11.5551033	25.1277616	.83307178	2.21051276E-04
18	5.73559701	24.875125	1.5142826	-5.68849035E-04
19	13.864257	25.1308077	.83690346	-1.38455071E-05
20	10.1457647	25.1232906	.83756498	-5.94225014E-04
21	11.9860469	25.0657539	15.8897032	1.51434913E-03
22	12.0055171	25.0761952	12.1469907	1.07000396E-03
23	11.9829752	25.0976803	8.44606845	5.33670187E-04
24	11.9876266	25.1157521	4.75113668	1.99263915E-04

(接受 : 1983. 11. 5)