

直接線形變換을 利用한 3次元 座標解析에 關한 研究

A Study on the Three Dimensional Coordinates Analysis by Direct Linear Transformation

金 甘 來* 李 鎬 男**
Kim Kam-Lae Lee Ho-Nam

要 旨

本 研究에서는 内部標定요소와 外部標定 要素를 모두 未知數로 취급하는 直接線形變換의 基本式을 유도하여 非反復的으로 직접 後方交會를 실시할 수 있는 알고리즘을 개발 전산화 하였으며, 기존의 立體圖化機와 Digitizer를 利用하여 像座標를, 測定하였다.

立體圖化機와 Digitizer를 利用한 像座標 測定 및 直接線形變換의 타당성을 입증하기 위하여 半解析 法으로 자료추출을 실시하였으며, 絶對座標에 代한 標準誤차를 分析하였다.

ABSTRACT

In this paper, the direct linear transformation is described in which a inner and exterior orientation parameters are treated as unknown for non-iterative direct space resection, and the computer program was developed to obtain object space coordinates. Image coordinates measurements are conducted with analogue stereo-plotter and digitizer.

To prove the appropriateness of the two image coordinate measurement devices and the DLT method, the standard errors of object space coordinates are compared with semi-analytical method.

1. 序 論

撮影거리가 300m이내인 近距離 寫眞測定 (close-range photogrammetry)은 航空寫眞測量 高유의 적용대상인 地形圖 作成은 물론, 像座標 측정을 위한 精密裝備의 도입과 컴퓨터의 대량보급 등으로 인해 土木工事에서 반도체 設計分野에 이르기 까지 각종 産業分野에 널리 活用되고 있다.^{1) 2) 3) 4)}

現在까지 精度향상과 出力形態의 다양화 등에 대해서 많은 研究가 이루어져 있으며,⁵⁾ ⁶⁾ 要求에 따라 이들을 最適化할 수 있으므로 더욱 많은 分野에 利用될 전망이다. 그러나 실제適用에 있어서는 裝備의 부족으로 인해 使用器具 및 解析條件의 다양화에 대한 必要性이 증대되고 있다.

따라서 실제適用을 위해서 非測定用 카메라의 利用과 像座標 測定裝備의 다양화가 모색되어 온바 本 研究에서는 直接線形變換의 基本式을 유도하여 非反復的으로 직접 後方交會를 실시하므로서 非測定用 카메라를 利用할 수 있는 解析프로그램을 作成하고, 像座

* 明知大學校 工科學 副教授
** 明知大學校 大學院

標測定에 精密座標測定機 (mono or stereo comparator) 이외에 國內에 많이 보급되어 있는 機械的 立體圖化機와 Digitizer를 利用하고, 絶對座標를 계산하여 標準誤差를 分析하므로써 적절한 檢定모델을 결정하고, 期待正 確度와의 比較를 통하여 그 타당성을 提示하고자 한다.

2. 直接線形變換 理論

2.1 基本方程式

直接線形變換은 像의 内部標定 없이도 非反復的으로 직접 後方交會를 할 수 있는 線形函數로 구성된 條件方程式으로, ^{7) 8) 9) 10)} 최근에는 拘束條件의 도입은 물론 光學畫像(optical image)과 合成開口레이다 (synthetic aperture radar)에 利用되고 있으며 그 범위가 더욱 확대되어 가고 있다.^{11) 12) 13)}

그림 2.1과 같이 寫眞測定에 이용되는 共線條件으로 부터 投影中心 O_A 와 地上點 $P(X, Y, Z)$, 寫眞座標 (x, y) 는 다음과 같은 관계가 成立된다. ^{14) 15)}

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = s(R_\phi R_\omega R_\kappa)^T \begin{bmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

여기서, $R_\phi R_\omega R_\kappa$ 는 ϕ, ω, κ 에 대한 回轉行列이고, s 는 縮尺係數이며, X_0, Y_0, Z_0 는 사진의 投影中心 O_A 를 地上座標系로 나타낸 것이다.

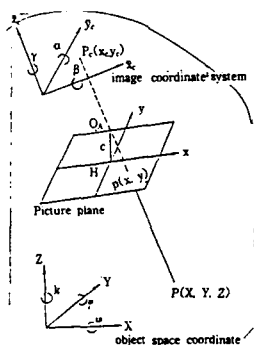


그림 2.1 General collinearity condition

式 2.1 에서 縮尺係數 s 를 소거하고, $(R_\phi R_\omega R_\kappa)^T =$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad \text{로 表現하면}$$

$$x = -c \frac{a_{11}(X-X_0) + a_{12}(Y-Y_0) + a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)} \quad (2.2)$$

$$y = -c \frac{a_{21}(X-X_0) + a_{22}(Y-Y_0) + a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)}$$

와 같은 基本的인 共線條件式을 얻을 수 있다.

또한 寫眞座標 $p(x, y)$ 와 像座標 $p_c(x_c, y_c)$ 와의 관계는

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R_\alpha R_\beta R_\gamma \begin{bmatrix} x \\ y \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{co} \\ y_{co} \\ z_{co} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

로 나타낼 수 있으며, $R_\alpha R_\beta R_\gamma$ 는 座標測定機의 좌표축 Y_c, X_c, Z_c 에 대한 α, β, γ 回轉要素의 回轉行列이다. 式 2.3에서 Z_c 를 소거하고 $R_\alpha R_\beta R_\gamma =$

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \quad \text{로 나타내면} \quad (2.4)$$

$$x_c x_{co} = b_{11}x + b_{12}y - b_{13}c$$

$$y_c y_{co} = b_{21}x + b_{22}y - b_{23}c$$

을 얻을 수 있다. 이는 測定된 像座標 (x_c, y_c) 를 寫眞座標 (x, y) 로 直交變換을 행할 수 있음을 의미한다. 그러나 非測定用 카메라는 指標가 없기 때문에 式 2.4와 같은 直交變換을 행할 수 없으며, 像座標 測定機의 좌표축과 寫眞座標係 平行하다고 가정할 경우

$$x_c = -c \frac{A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (2.5)$$

$$y_c = -c \frac{A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1}$$

와 같은 直接線形變換의 基本方程式을 얻는다. 式 2.5는 1971年 Abdel-Aziz와 Karara가 開發한 것으로 式 2.2와 같은 非線形方程式을 풀기위해 逐次近似解法을 사용하지 않아도 되나 최소한 6개 이상의 標定點이 要求된다. ^{16) 17)}

2.2 렌즈왜곡수차의 영향

直接線形變換에 따르는 定誤差는 필름의 변형과 렌즈의 왜곡수차에 기인하는 것으로 線形요소들은 11개의 變數중에 포함되어 있다. 그러나 非線形렌즈왜곡 수차는 中心投影 요소가 아니므로 寫眞座標 $P(x, y)$ 에 대해 非線形이고 11개의 變數중에 포함되지 않는다.^{18) 19)}

렌즈의 왜곡수차에 대해서는 많은 研究가 이루어져 있으나, 그중 1971년 發表한 Brown의 公式²⁰⁾

$$\begin{aligned} \Delta x &= x(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + p_1(r^2 + 2x^2) \\ &\quad + 2p_2 x y + \dots \\ \Delta y &= y(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + 2p_2 x y \\ &\quad + p_2(r^2 + 2y^2) + \dots \end{aligned} \quad (2.6)$$

이며, 단

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$k_1, k_2, k_3 \dots$ = 對稱性 렌즈 歪曲收差

$p_1, p_2 \dots$ = 非對稱性 렌즈 歪曲收差

이다.

寫眞座標 x, y 가 非線形 렌즈 歪曲收差를 포함하고 있다면, 露出당시의 座標는

$$\begin{aligned} x_d' &= x + \Delta x \\ y_d' &= y + \Delta y \end{aligned} \quad (2.7)$$

이고, 現像한 뒤의 座標는

$$\begin{aligned} x_d' &= \lambda x(x + \Delta x) \\ y_d' &= \lambda y(y + \Delta y) \end{aligned} \quad (2.8)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 λ 는 x, y 축에 대한 縮尺의 變化 係數이다.

또한 寫眞座標와 像座標는 式(2.4)와 같이 變換을 행할 수 있으므로 式(2.4)에 式(2.8)을 代入하면

$$\begin{aligned} x_c &= a_1(x + \Delta x) + a_2(y + \Delta y) + a_3 \\ y_c &= a_4(x + \Delta x) + a_5(y + \Delta y) + a_6 \end{aligned} \quad (2.9)$$

를 얻는다. 座標測定機의 座標係에 대해 x_c, y_c 면이 寫眞面과 平行하고, 線形性 필름변형이 무시할 수 있을 정도로 작다면

$$\begin{aligned} a_1 \Delta x + a_2 \Delta y &\simeq \Delta x \\ a_4 \Delta x + a_5 \Delta y &\simeq \Delta y \end{aligned} \quad (2.10)$$

이므로 式 2.9는

$$x_c - \Delta x = a_1 x + a_2 y + a_3 \quad (2.11)$$

$$y_c - \Delta y = a_4 x + a_5 y + a_6$$

이며, 결과적으로 非線形렌즈 歪曲收差가 작지 않다면 直接線形變換은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AV_x + A\Delta x + x_c + A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4 + A_9 x_c X + A_{10} x_c Y + A_{11} x_c Z = 0$$

$$AV_y + A\Delta y + y_c + A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8 + A_9 y_c X + A_{10} y_c Y + A_{11} y_c Z = 0$$

$$A = A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1 \quad (2.12)$$

V_x, V_y = 定誤差 이외에 像座標에 포함된 偶然誤差

最少제곱法을 利用하여 式 2.12로 부터 未知數를 구한뒤, P개의 寫眞이 撮影되었을 경우 2P-3의 自由度로 부터 X, Y, Z의 絶對座標를 구할 수 있으며, 本 研究에서는 그림 2.2와 같은 순서로 解析하였다.

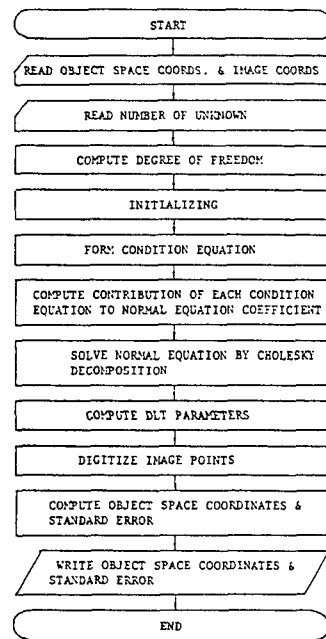


그림 2.2 Block diagram for DLT approach

2.3 標定點 선택

空門後方交會(space resection)를 실시할때

直接線形變換을 利用할 경우 신뢰도(reliability)는 單位輕重率에 대한 標準誤差 대신 S의 보다 定確한 예측값인 S_0 를 使用하며,^{21) 22)}, 標定點 測定의 標準誤差를 S라고 할때 n개의 標定點과 u개의 未知數를 갖는다면

$$S_0 = \frac{S}{\sqrt{2n-u}} \quad (2.13)$$

表 2.1 The standard deviation of the standard deviation of the object space coordinates, S_s versus the number of control point used in the solution

u \ P	6	7	8	15	20	25	30	35	60
11	3.4641	2.1602	1.7889	1.2566	1.1744	1.1323	1.1066	1.0892	1.0492
12	*	2.6458	2.0000	1.2910	1.1952	1.1471	1.1180	1.0986	1.0541
14	*	*	2.8284	1.3693	1.2403	1.1785	1.1421	1.1180	1.0640
16	*	*	*	1.4639	1.2910	1.2127	1.1677	1.1386	1.0742

n=Number of control point. u=number of unknown

또한, 그림 2.3에서 볼 수 있듯이 標定點의 갯수가 25개 이상인 경우에는 精度향상에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

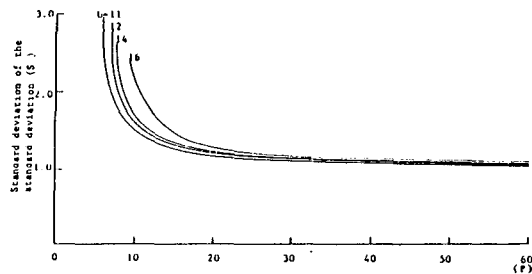


그림 2.3 The standard deviation of the standard deviation of the object-space coordinates S versus the number of object-space control points(P) used in the solution

3. 實驗 및 結果分析

3.1 實驗

本 研究에서는 test field로 굵기 약 0.3mm의 피아노 강선에 1.5Kg의 추를 단 1.8m 길 이의 6개 강선에 모두 60개의 target을 설치한

로 나타낼 수 있다.

이와같은 관계로 부터 標定點의 갯수와 未知數의 變化에 따른 標準誤差는 表 2.1와 같다.

것을 使用하였다. target은 6×3Cm의 크기로 굵기 0.1mm의 十字線을 使用하여 제작하였고, 撮影距離를 1.8m, 2.5m, 4.5m로 증가시키 며 P31 카메라를 利用하여, 약 60%의 重複 度로 撮影하였다.

target의 3次元 위치결정은 被寫體에 대해 약 6m 떨어진 곳에 撮影基線과 平行하게 5. 242m의 基線을 설치하여 1"독 데오돌 라이트 를 利用하여 三角水準測量을 실시 하였으며, 그중 20개를 標定點으로 使用하였다.

像座標 測定을 위해서 분해능이 0.010mm인 Wild A10 圖化機와 0.025mm의 분해능을 갖는 Digitizer를 利用하였으며, Digitizer로 像座標 를 測定하기 위해서 2倍로 확대하여 使用하 였다.

3.2 結果分析

3.2.1 理論的 期待誤差

寫眞測定의 理論的 期待誤差에 대해서는 많은 研究가 이루어져 있는 실정이며, 특히 Karara와 Abdel Aziz는 投影中心에 대한 定 確度를 豫測할 수 있는 式을 유도했으며 그림 3.1와 같은 收斂撮影의 경우 絕對座標에 대한

標準誤차는 다음과 같이 豫測할 수 있다.²³⁾

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{D}{C} \frac{1 + \tan \alpha \tan \varphi}{1 - \tan(\alpha - \varphi) \tan \rho} \sigma \quad (3.1) \\ \sigma_z &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{D}{C} \frac{1/\cos \varphi}{1 - \tan(\alpha - \varphi) \tan \rho} \sigma \\ \sigma_y &= \frac{2}{\gamma} \frac{D}{C} \sigma_x \end{aligned}$$

여기서, r 은 基線高度比이고, σ 는 像座標 觀測에 따르는 標準誤차이다. 그러나 本 研究

에서는 直角 水平攝影을 실시 하였으므로 $\varphi = 0^\circ$ 이다.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_z = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{D}{C} \sigma \\ \sigma_y &= \frac{2}{\gamma} \frac{D}{C} \sigma_x \end{aligned} \quad (3.2)$$

이고, 絶對座標에 대한 理論的 標準誤차는 表3.1와 같다.

표 3.1 Accuracy predictor

Object space distances(m)	Base line(m)	Predictor	Image coordinates RMS σ (mm)				
			0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
1.8	0.8	$\sigma_x = \sigma_z$	0.09	0.18	0.36	0.54	0.72
		σ_y	0.27	0.56	1.11	1.66	2.21
2.5	1.2	$\sigma_x = \sigma_z$	0.13	0.25	0.50	0.75	1.00
		σ_y	0.38	0.77	1.53	1.53	3.07
4.5	1.8	$\sigma_x = \sigma_z$	0.23	0.45	0.90	1.36	1.81
		σ_y	0.78	1.56	3.11	4.67	6.23

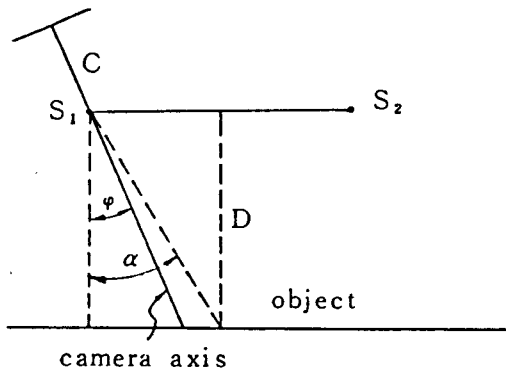


그림 3.1 Definition of the central point C

3.2.2 半解析的 方法에 의한 絶對座標와 標準誤차

本 研究에서 使用된 카메라는 P31 測定用 카메라로 모두 5개의 指標가 있기 때문에 도 화기 상에서 모델을 형성할 수 있었으며, 이로부터 얻은 모델座標로부터 6개의 標定點을 使用하여 3次元 變換을 실시한 후 얻은 標準誤차는 表 3.2와 같다.

表 3.2 Accuracy (RMS) for semi-analytical method

Object Space distance(m)	Root mean square values(mm)		
	S_x	S_z	S_y
1.8	0.528	0.684	1.580
2.5	0.720	0.754	1.980
4.5	1.124	1.450	3.580

表3.2와 그림 3.2에 圖視된 바와 같이 비 록 圖化機는 $10\mu\text{m}$ 까지 測定이 가능하나 모 델형성과정에서 생기는 誤差와 렌즈의 歪曲 收差, 필름의 變形에 대한 解析이 따르지 않 았기 때문에 表3.1의 기대정확도와 비교할 경우 像座標 測定에 따르는 誤차는 약 $30\mu\text{m}$ 에 해당한다.

X와 Z축에 비해 Y축의 오차가 2배 이상 큰것은 攝影基線長에 비하여 攝影巨離가 큰 것이 가장 큰 원인이다.

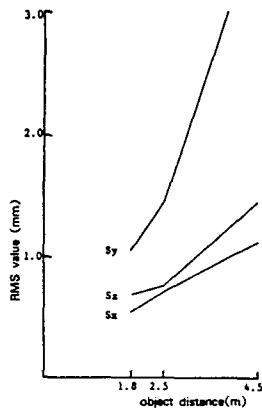


그림3.2 Accuracy(RMS) for semi-analytical method

3.2.3 直接線形變換에 의한 絕對座標의 解析과 標準誤差

1.8m, 2.5m, 4.5m의 攝影距離에 대한 3모델의 寫眞에 대하여 圖化機와 Digitizer에 의한 像座標 測定값에 定誤差를 보정하기 위하여 未知數를 11부터 12, 14, 16으로 증가 시키면서 解析한 결과 標準誤差의 分布는 表3.3, 表3.4, 이고 이를 圖視한것이 그림 3.3에서 그림 3.8까지이다.

표(3.3) Accuracy of object-space coordinates obtained by direct linear transformation(except control point)

D(m)	1.8			2.5			4.5		
	(mm)								
Number of Unknown	S _X	S _Z	S _Y	S _X	S _Z	S _Y	S _X	S _Z	S _Y
11	0.47	0.58	1.02	0.55	0.68	1.40	1.24	1.43	2.20
12	0.30	0.31	0.64	0.41	0.42	1.02	0.84	0.92	1.65
14	0.30	0.39	0.84	0.46	0.48	1.08	0.90	0.94	1.69
16	0.34	0.42	0.79	0.41	0.47	1.08	1.18	1.20	1.74

(Stereo plotter)

표(3.4) Accuracy of object-space coordinates obtained by direct linear transformation(except control point)

D(m)	1.8			2.5			4.5		
	(mm)								
Number of Unknown	S _X	S _Z	S _Y	S _X	S _Z	S _Y	S _X	S _Z	S _Y
11	0.69	0.78	1.95	0.93	1.05	3.37	1.95	1.97	6.02
12	0.42	0.48	1.60	0.64	0.71	2.40	1.40	1.60	4.50
14	0.64	0.70	1.60	0.64	0.78	2.70	1.36	1.58	5.60
16	0.50	0.62	1.89	0.69	0.81	2.60	1.54	1.56	4.80

(Digitizer)

그림(3.3), 그림(3.4), 그림(3.5)과 같이 도화기를 사용하여 像座標를 觀測한 경우 X, Y, Z축의 絕對座標에 대한 標準誤差의 算術平均은 X축이 Z축보다 精度가 약간 높았고, Y는 基線에 비해 攝影距離가 크기때문에 상대적으로 精度가 낮았다. 그러나 이러한 Y축의 絕對座標는 收斂攝影 및 寫眞枚數와 標定點을 증가시킴으로서 해결할 수 있다.

또한 定誤差의 解析方法에 따라 그 精度가 다름을 알 수 있으며, 線形成分 이외에 대칭성 렌즈歪曲收差인 K₁ 항만을 사용한 경우가 가장 높았다.

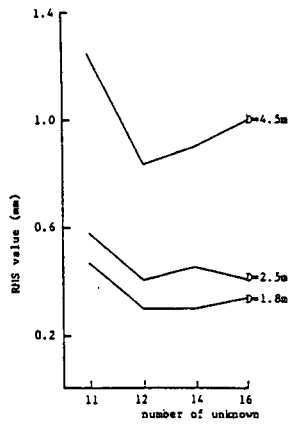


그림 3.3 Accuracy (RMS) of X coordinates

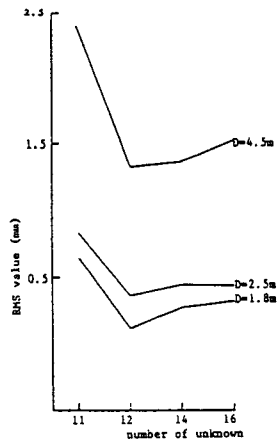


그림 3.4 Accuracy (RMS) of Z coordinates

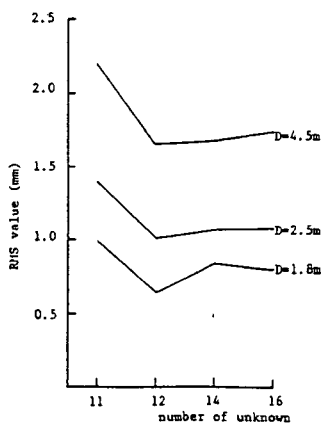


그림 3.5 Accuracy (RMS) of Y coordinates

像座標 測定에 Digitizer 를 利用한 경우 그

림 3.6, 그림 3.7, 그림 3.8에 圖視된 바와 같이 標準誤差의 폭이 상당히 큼을 알 수 있다. 이는 標定點제작에 굵기 약 0.1mm의 十字線을 사용한 것이 음화를 확대하는 과정에서 상태가 좋지 않았던 것으로 미루어 보아, 像座標 測定에 많은 誤差가 포함되었으며, 특히 그림 3.8에서는 Y축의 誤差가 4mm이상 發生했다.

도화기에 비해서 Digitizer를 使用한 경우 상대적으로 精度가 낮았으며, 定誤差의 보정항에 따라 未知數를 증가시킬 경우 전체적으로 일관성없는 분포를 나타내고 있으나 대체적으로 K_1 항만을 고려하는 경우가 별 무리가 없었다.

精密座標測定機를 使用하여 像座標를 測定한 종래의 研究와 비교해 볼때 絶對座標에 많은 誤差가 포함되어 있었으며, 무엇보다도 像座標관측에 따른 誤差의 영향이 가장 큰 것이 원인이다. 따라서 도화기와 Digitizer를 使用하여 像座標를 測定하고자 할 경우 많은 주의를 기울여야 하며, 특히 Digitizer의 경우 기준을 적절히 선택하지 않으면 안된다.

이러한 관점에서 볼때 Digitizer는 精密座標解析보다는 實用的인 側面에서 使用해야 하며, 카메라 檢定모델의 결정에는 誤差요인의 正確한 分析과 더불어 充分한 實驗이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

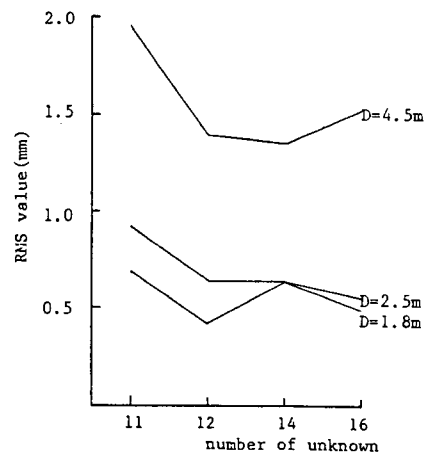


그림 3.6 Accuracy (RMS) of X coordinates

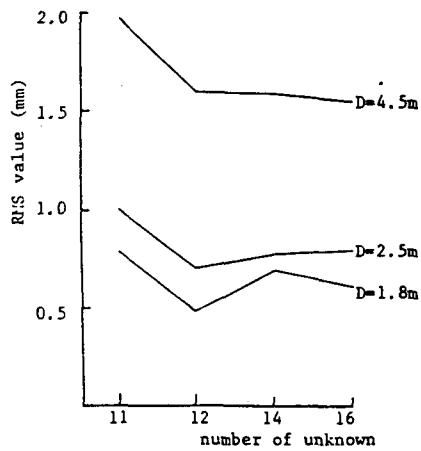


그림 3.7 Accuracy (RMS) of Z coordinates

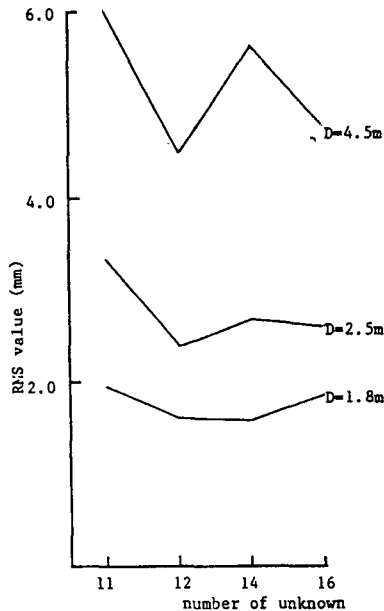


그림 3.8 Accuracy (RMS) of Y coordinates

4. 結 論

近巨離寫眞測定에서의 非測定用 카메라에 대한 利用範圍의 확대는 解析方法에 달려있는 것으로 解析方法에 따라 최종적으로 얻고자 하는 3次元 座標는 상당히 큰 차이를 보였으며, 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 半解析法에 의한 3次元 座標의 解析에 비해

直接線形變換을 利用할 경우 60~90%精度를 향상시킬 수 있다.

2. 内部標定要素가 불안정한 非測定用 카메라를 使用할 경우 像의 보정은 内部標定要素와 外部標定要素를 모두 未知數로 취급하는 直接線形變換이 효과적이며, 定誤差의 解析은 K_1 항만 使用하는 것이 바람직하다.

3. 像座標 測定裝備의 다양화를 目的으로 기존의 立體的 圖化機와 Digitizer를 使用할 경우, 精密座標 解析을 위해서는 충분한 반복측정을 실시해야하며, Digitizer가 상대적으로 精度가 낮으나 陰晝의 확대비율에 따라 보다 正確한 結果를 얻을 수 있다.

4. 期待正確度를 얻기 위해서는 攝影巨離와 基線를 적절히 선택하여야 하며 直接線形變換을 利用한 자료추출을 위해서는 25개의 標定點이 적당하다.

參考文獻

1. Ian Newton. 1975. Close-range photogrammetry as an aid to measurement of marine structures. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. No. 12. pp 1501-1509.
2. R. Welch., & T. R. Jordan., 1983. Analytical non-metric close-range photogrammetry for monitoring stream channel erosion. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. No. 3. pp 367-374.
3. V. D. Brandow., & H. M. Karara. 1976. A non-metric close-range photogrammetric system for mapping geologic structures in mines. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. No. 5. pp 637-648.
4. Y. I. Abdel-Aziz. 1979. An application of photogrammetric techniques to building construction. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. No. 4. pp 539-544.
5. 유복모, 강준목, 박흥기, 1983, 지상사진에 의한 구조물의 정밀측정에 관한 연구, 한국측지학회지, 제1권, 제1호, pp 9~16.
6. 강준목, 1986, 공선조건에 의한 구조물의 기하학적 변형해석에 관한 연구 한국측지학회지, 제4권, 제2호, pp 77~87
7. H. M. Karara. 1972. Simple cameras for close-range application, Photogrammetric Engineering Vol. 38 No. 5 pp 447-451
8. H. M. Karara. 1974. Aortic heart valve geometry. Photogrammetric Engineering Vol. 40. No. 12. pp 1393-1402.

9. M. C. Van Wijk., & H. Ziemann. 1976. The use of non-metric cameras in Monitoring High Speed Process. PE & RS. Vol. 42. No. 1 pp 91~102.
10. G. T. Marzan. 1976. Rational design for close-range photogrammetry. D. C. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
11. Michael H. Brill. 1987. Triangulating from Optical and SAR images using Direct Linear Transformations. PE & RS. Vol. 53 No. 8. pp 1097~1102
12. Hanspeter Bopp., & Herebert Krauss. 1978. An orientation and calibration method for non-topographic applications. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. No. 10. pp 1191~1196
13. H. B. Papo. 1982. Free Net analysis in close-range photogrammetry PE & RS, Vol. 48. No. 4. pp 571~576
14. F. H. Moffitt., & E. M. Mikhail. 1980. Photogrammetry. Harper & Row, Publishers. New York. pp 335~371.
15. P. R. Wolf., 1974. Elements of Photogrammetry. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. pp 542~551.
16. K. W. Wang. 1975. Mathematical formulation and digital analysis in close-range photogrammetry. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing. No. 11. pp 1355~1373.
17. H. M. Karara., 1974. Accuracy aspects of non-metric imageries. Photogrammetric Engineering. No. 9. pp 1107~1117.
18. Atsushi Okamoto. 1984. The model construction problem using collinerity condition. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing. No. 7 pp 705~711.
19. Wolfgang Faig., 1975. Calibration of close-range photogrammetric systems : mathematical formulation. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing No. 12. pp 1479~1486.
20. D. C. Brown. 1971. Close-range camera calibration Photogrammetric Engineering. Vol. 37. No. 8. pp 855~866.
21. Y. I. Abdel-Aziz. 1973. Lens distortion and close-range. Photogrammetric Engineering. No. 6. pp 611~614.
22. Hottier. 1976 Accuracy of close-range analytical restitution : Practical experiments and prediction. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing. No. 3 pp 345~374.
23. Y. I. Abdel-Aziz. 1974. Expected accuracy of convergent photos. Photogrammetric Engineering. No. 1. pp 1341~1346.