

Multiple Method에 의한 Strip 組合解析에 관한 研究

A Study on the Analysis of Combined Strip by Multiple Method

姜 準 默* · 吳 元 鎮** · 韓 承 熙***
Kang, Joon Mook · Oh, Won Jin · Han, Seung Hee

Abstract

As most structures need all sided analysis, development of precise and ideal analytical techniques are required. In non-metric camera alone or metric and non-metric camera can be used for the purpose of measurement, the object will be analyzed economically and quickly.

The purposes of this study are to suggest possibility of analysis of circular strip by means of Bundle Adjustment and to investigate efficiency of analytical method by combination of metric and non-metric camera. For these purposes, cylindrical structure was taken as the object and multiple convergent photographs changing ω and ϕ , by which circular strip was formed, were analysed.

要 旨

대부분의 構造物들은 全面解析을 要하는 경우가 많으므로 이에 대한 正確하고도 理想的인 解析技法의 開發이 要望되며, 精密測定을 爲하여 非測定用 카메라를 使用하거나 非測定用 카메라와 測定用 카메라를 組合하여 使用 할 수 있다면 經濟적이고 迅速하게 對象物을 精密解析 할 수 있을 것이다.

本 研究에서는 全面解析을 要하는 圓形 構造物를 對象으로 收斂 多重寫眞測量을 實施, bundle 調整法에 의한 圓形 스트립解析의 可能性을 提示하고, 回轉要素 ω , ϕ 를 變化하여 撮影한 스트립을 同時 解析함으로써 正確度の 向上을 祈함은 물론 測定用 카메라와 非測定用 카메라에 의한 스트립의 組合解析을 實施하여 이의 適用 妥當性を 提示하는데 그 目的이 있다.

1. 序 論

近接寫眞測量은 小規模 地域의 地形圖 作成, 建設分野에 있어서의 施工 檢査, 構造物의 變形測定

에 依한 安全度 檢査, 醫學, 熱 變形測定, 尖端裝備의 製作 檢査등 여러 分野에 廣範圍하게 應用되고 있다. 航空寫眞에 의한 地表面의 一面 解析과는 달리 地上 構造物의 경우는 모든 方向의 全面 解析

*正會員 · 忠南大學校 工科大學 副教授

**正會員 · 忠南大學校 大學院 博士課程

***正會員 · 忠南大學校 大學院 博士課程

을 요하는 경우가 많으므로 이에 대한 正確하고도 理想的인 解析技法의 開發이 要望된다. 또한 瞬間 變形測定과 같이 一時攝影이 불가피한 경우 多重 測定용 카메라 시스템의 確保가 어려운 實情이므로 測定目的을 爲하여 非測定용 카메라를 사용하거나 測定용 카메라와 非測定용 카메라에 의한 寫眞을 組合하여 利用할 수 있다면 經濟的이며 迅速하게 對象物을 精密解析할 수 있을 것이다.

多重寫眞의 地上에 대한 適用은 1980年 Brown의 포물선 안테나의 檢査에서 收斂多重 寫眞을 適用하여 解析을 시도한 것⁽¹⁾ 1981年 Okamoto가 共面條件에 대한 數學的 모델을 定立하고⁽²⁾ 1983年 El-Beik가 이를 實驗的으로 시도하였으며⁽³⁾ 最近 1986년에는 C. S. Fraser가 圓形 compressor의 熱變形 測定에서 原形 多重스트립을 適用하는등⁽⁴⁾ 각종 圓筒形 또는 球形 構造物에 대한 圓形 多重스트립 解析에 대한 技法 開發의 必要性이 要求되고 있다.

또한 非測定용 카메라에 대한 연구는 1974年 Karara와 Abdel-Aziz가 非測定용 카메라에 의해 撮影된 像點들에 대한 正確度 研究를⁽⁵⁾ 비롯하여 非測定용 카메라의 應用은 대부분 非地形學的 分野에 많이 適用되어 왔다. 특히 1982年 David는 35mm 카메라를 利用, 立體鏡과 視差測定桿을 使用하여 永河測定에서 그 成果를 거두었으며⁽⁶⁾ 뒤이어 Welch와 Jordan은 계곡의 流水에 의한 침식측정을 實施한 結果 $\pm 3\text{mm}$ 의 標準誤차를 얻었으며 X와 Y의 地上座標를 標準誤차 $\pm 6.5\text{mm}$ 까지 解析하여 經濟的인 面과 効率的인 面은 물론 正確度面에서도 非測定용 카메라의 使用 可能性을 提示하는등⁽⁷⁾ 多方面에 그 應用이 活潑해 지고 있다.

本 研究에서는 全面解析을 要하는 圓形構造物을 對象으로 寫眞測量을 實施, bundle 調整에 의한 圓形스트립 解析의 可能性을 提示하고 回轉要素 ω, φ 를 變化하여 撮影한 스트립을 同時 解析함으로써 正確度の 向上을 꾀함은 물론 基準點數에 따른 스트립解析의 誤差 영향과 아울러 測定용 카메라와 非測定용 카메라에 의한 스트립의 組合解析을 實施하여 이의 適用 妥當性을 提示하는데 目的을 두었다.

2. 測定

圓形 스트립에 의한 全面解析을 爲해 圓筒形 構造物에 9개의 基準點을 고른 密度로 配置하고 縱으로 4점, 橫으로 24점, 總 96點의 未知點에 대해 解析할 수 있도록 하였다. 撮影에 使用된 카메라는 P-31 測定용 카메라 ($f=99.54\text{mm}$)와 YASHICA MAT124 非測定용 카메라 ($f=80\text{mm}$)이다.

測定용 카메라에 의한 撮影은 被寫體를 上·中·下, 3개의 스트립으로 被覆 撮影하여 스트립當 各 12枚씩 總 36枚의 寫眞을 얻었다. 撮影時 各 스트립에 適用된 回轉角 ω 는 $-15^\circ, 0^\circ, +15^\circ$ 였다. 또 非測定용 카메라를 使用하여 中스트립에 限하여 12枚의 寫眞을 撮影하였다.

基準點座標 및 未知點들의 近似座標는 kern DKM 2-A 精密 데오들라이트를 使用하여 測定하였으며 露出點 位置 및 카메라 回轉要素 ω, φ, κ 에 대한 初期 近似값은 三角測量 原點에 設置한 데오들라이트의 光軸과 鉛直軸의 交點을 被寫體 空間座標係의 原點으로 上스트립, 中스트립, 下스트립별로 被寫體의 全面에 대한 撮影樣相을 고려하여 決定하였고 各 撮影點 座標 X_L, Y_L, Z_L 역시 同一 座標係 內에서 決定하였는데 여기서 Z_L 은 X軸으로부터 撮影點까지의 垂直距離이다.

解析過程에서 基準點의 數에 따른 誤差의 影響을 파악하기 위하여 基準點 密度를 被寫體 表面에 고르게 유지시켜 가며 1點씩 減少시켜 最少 2개의 X, Y座標 基準點과 3개의 Z座標 基準點까지 計算하였다. 또한 被寫體 全面의 解析에 있어서 스트립 組合의 特性을 分析하기 위해 上·下스트립 24枚와 上·中·下스트립 36枚, 두 鍾類의 組合으로 구분하여 解析하였다. 아울러 非測定용 카메라와 測定용 카메라의 組合 可能性을 解析하기 위해 測定용 24枚와 非測定 12枚를 組合하여 36枚, 測定용 36枚와 非測定용 12枚를 組合하여 48枚의 경우로 각각 解析하였다.

3. 結果分析

實驗結果는 各 strip을 組合하여 多重寫眞 技法에⁽⁸⁾ 의해 解析하였다. 分析된 資料는 未知點 96點에 대한 標準誤차의 平均값을 나타낸 것이며 幾何學的 誤差 (Simulated error)는 X_G, Y_G, Z_G 로, 實驗

表 1. The Average Standard Errors of Metric 12, 24 and 36 Photos.

The # of control points	Simulated error			Actual error		
	12	24	36	12	24	36
9	72.4	44.1	31.8	122.8	79.7	57.2
8	72.7	45.4	32.7	124.5	77.9	58.0
7	75.2	47.2	33.2	111.5	74.8	55.1
6	78.1	49.5	36.1	91.9	61.4	44.5
5	82.5	51.8	39.0	93.2	59.8	44.0
4	91.3	56.4	41.6	101.8	59.2	44.7
3	109.8	63.7	49.8	113.0	66.8	51.0
2	169.8	76.8	60.2	175.2	81.0	64.1

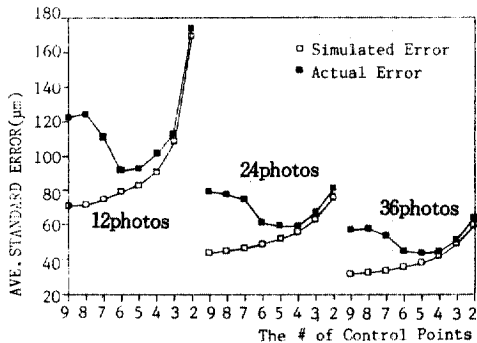


그림 1. The Standard Error vs. the Number of Control Points in 12, 24 and 36 Photos.

의 誤差(actual error)는 X_A , Y_A , Z_A 로 表記하였다. 또한 基準點은 9點에서 高된 密度로 減少시켜가며 分析하였으며 2點의 基準點이라 함은 2XY, 3Z를 意味한다.

表 1과 그림 1은 12매, 24매와 36매 寫眞의 X, Y, Z座標에 대한 誤差의 算術平均을 나타낸 것으로 組合에 따른 寫眞枚數의 增加가 현저한 誤差의 減少를 가져오고 있으며 幾何學의 誤差는 12매 寫眞에 비해 각각 약 42%, 57%, 로 減少하였고 實驗的 誤差 역시 비슷한 誤差의 減少를 보이고 있다. 또한 寫眞枚數 12枚의 경우에서 基準點이 3點에서 2點(2XY, 3Z)으로 減少하면서 급격한 誤差의 增加를 보이지만 寫眞枚數를 24枚, 36枚로 增加

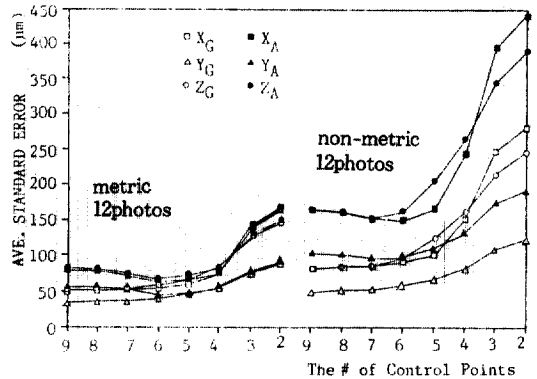


그림 2. The Standard Error of Metric 12Photos & Non-metric 12Photos vs. the Number of Control Points

시킴에 따라 誤差의 幅이 減少하였다. 12枚 寫眞과 36枚 寫眞의 結果를 比較해 볼때 약 57%의 誤差 減少를 보임으로서 strip 組合解析의 精度向上을 認 볼 수 있다. 세 경우 모두 實驗的인 誤差가 4~6개의 基準點에서 가장 낮은 分布를 보이고 있으며 그 前과 後에서는 增加하고 있는데 이는 基準點數가 많으면 많을수록 만족시켜야 할 制約條件이 많 아지기 때문이다.

그림 2는 測定用 및 非測定用 12枚의 寫眞에 대한 解析結果를 각각 나타낸 것이다. 測定用에서는 基準點數가 減少함에 따라 實驗에 의한 誤差 X_A , Y_A , Z_A 가 서로 接近하며 서서히 增加하는데 비해 非測定用은 比較的 큰 幅을 보이며 增加하여 基準點 4點 이하에서는 급격한 增加를 보이고 있다. 여기에서 非測定用的 경우 幾何學의 誤差 X_G , Y_G , Z_G 와 實驗에 의한 誤差 X_A , Y_A , Z_A 가 일정한 間격을 유지하며 서로 一致하지 않는데 이는 렌즈의 歪曲 補正을 하지 않았기 때문으로 思料된다. 全體的인 誤差의 추세로 볼때 測定用이 非測定用보다 基準點數의 變化에 따른 影響을 적게 받는다는 것을 알 수 있다. 測定用, 非測定用 공히 4내지 6點의 基準點에서 最少의 誤差를 보이며 測定用은 40~60 μ m, 非 측정용은 60~150 μ m를 보이고 있어 이와 같은 構造物에서 4~6點의 基準點을 適用한다면 非測定用 카메라로도 所期의 目的을 達成할 수 있을 것이다.

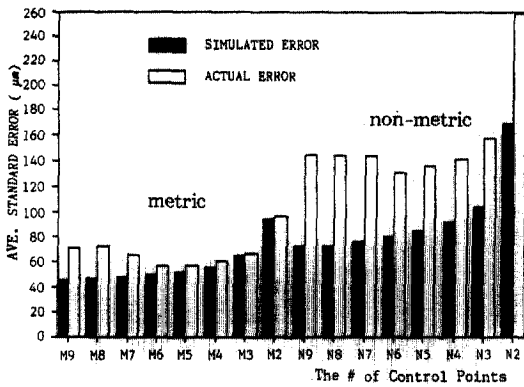


그림 3. The Average Standard Error of Metric 12 Photos and Non-Metric 12 Photos.

그림 3은 앞의 測定用과 非測定用 카메라에 의한 12매 寫眞의 X, Y, Z座標 誤差를 算術平均한 것이다. 測定用 카메라에 의한 경우 幾何學的 標準誤差와 實驗에 의한 座標誤差가 基準點數의 減少에 따라 接近하여 2XY, 3Z에서는 비록 增加를 보이지만 거의 一致하고 있다. 非測定用 카메라에 의한 경우에는 9點의 基準點에서 약 70 μ m의 차이를 보이다가 3點의 基準點까지 미소하게 接近하며 2XY, 3Z에서 약 110 μ m까지의 差異로 一致하지 않았다. 주목할것은 幾何學的인 誤差는 M9에서 N2까지 서서히 增加하고 있으나 實驗에 의한 誤差는 M2에서 N9으로 變化하면서 급격히 增加하여 N3까지 별다른 變化가 없다는 점인데 이는 lens calibration을 實施하지 않은 非測定用 카메라에 의한 경우에는 6個의 基準點 前·後에서 좋은 結果를 보이나 基準點數를 增加시키면 測定用 카메라에 비해 實驗의 誤差와 幾何學的 誤差가 현저한 差異를 나타

내고 있기 때문이다.

表 2와 그림 4는 測定用 카메라에 의한 24枚 寫眞(M24), 36枚 寫眞(M36), 그리고 測定用 카메라에 의한 24매 寫眞(M24)과 非測定用 카메라에 의한 12매 寫眞(N12)을 組合解析한 結果와 이를 圖示한 것이다. 幾何學的 標準誤差는 M24에 비해 MN36에서 각 基準點마다 약 5 μ m 정도 낮은 分布를 보이며 유사한 양상으로 나타나고 있는 반면, 實驗에 의한 標準誤差는 약 12~17 μ m 정도 높게 나타나고 있다. MN36의 幾何學的 標準誤差는 M36에 비해 각 基準點에서 약 2~5 μ m 정도 높게, 實驗에 의한 標準誤差는 약 15~20 μ m 정도 높게 나타나고 있다. 따라서 寫眞枚數가 24枚에서 36枚로 增加함에 따라 幾何學的 誤差는 약 18%, 實驗에 의한 誤差는 약 20%로 減少하였고 非測定用 12枚와 組合한 36枚의 경우는 각각 23.6%, -3%의 誤差減少를 보여 實驗에 의한 誤差는 오히려 增加하였으나 그 幅이 미소하므로 非測定用 카메라의 組合이 부득이 할 경우엔 測定用 카메라와의 組合, 應用이 可

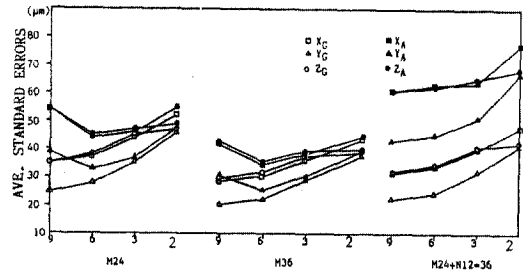


그림 4. Comparison of Metric Photos with Combined Photos. (Metric 24, 36Photos and Metric 24+ Non-metric 12 Photos)

表 2. The Average Standard Errors of Metric 24, 36 and Combined Metric with Non-Metric 36 Photos. (μ m)

The # of control Points	Metric 24 Photos						Metric 36 Photos						Metric 24, Non-Metric 36 Photos					
	Simulated			Actual			Simulated			Actual			Simulated			Actual		
	X _G	Y _G	Z _G	X _A	Y _A	Z _A	X _G	Y _G	Z _G	X _A	Y _A	Z _A	X _G	Y _G	Z _G	X _A	Y _A	Z _A
9	35.0	25.2	35.0	54.4	39.2	54.4	28.3	20.3	28.7	42.1	30.2	42.7	26.4	18.7	26.7	47.1	33.4	47.7
6	37.0	27.6	37.8	44.3	33.0	45.2	30.1	22.4	31.2	34.6	25.7	35.9	28.1	20.3	28.3	48.7	35.2	49.1
3	44.0	35.5	44.8	45.9	37.1	46.8	36.2	29.1	37.2	37.4	30.0	38.4	33.8	26.9	34.7	49.8	39.7	51.2
2	51.8	45.4	46.1	54.6	47.9	48.6	43.3	37.6	38.6	44.7	38.8	39.9	40.9	35.2	36.2	60.5	52.1	53.5

表 3. The Average Standard Error of Combined 36 Photos Vs. 48 Photos

(μm)

The # of Control Points	Combined Photos (Metric 36, Non-Metric 12)						The # of control points	Combined Photos (Metric 24, Non-Metric 12)					
	Average simulated error			Average actual error				Average simulated error			Average actual error		
	X_G	Y_G	Z_G	X_A	Y_A	Z_A		X_G	Y_G	Z_G	X_A	Y_A	Z_A
9	26.4	18.7	26.7	47.1	33.4	47.7	9	31.6	22.4	31.6	60.7	43.0	60.7
6	28.1	20.3	28.3	48.7	35.2	49.1	6	33.6	24.2	33.5	62.7	45.2	62.5
3	33.8	26.9	34.7	49.8	39.7	51.2	3	39.9	31.7	40.6	64.6	51.3	65.7
2	40.9	35.2	36.2	60.5	52.1	53.5	2	47.5	41.0	42.0	77.4	66.8	68.4

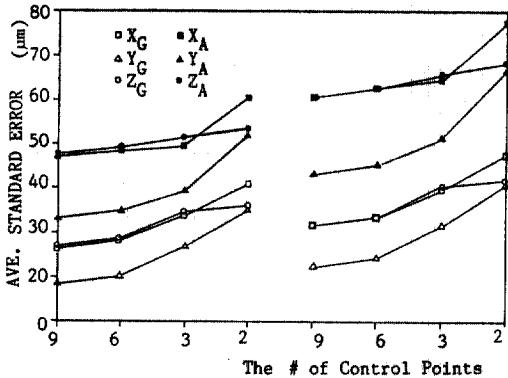


그림 5. The Average Standard Errors of Combined Case (Metric 36 + Non-Metric 12, Metric 24 + Non-Metric 12 Photos).

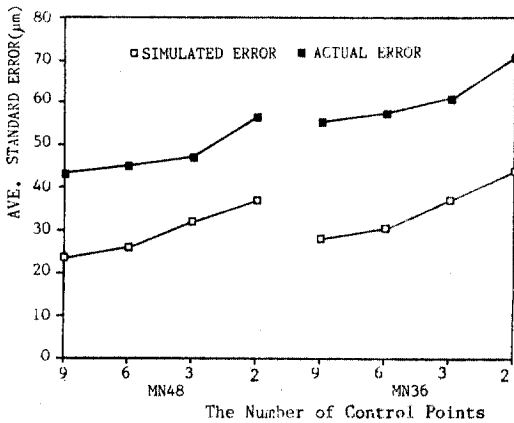


그림 6. The Average Standard Error of the Combined Case of Metric and Non-metric Camera.

能할 것으로 思料된다.

表 3 과 그림 5 는 M36, N12 의 48 매 組合의 경우와 M24, N12 의 36 매의 경우에 대한 標準誤差 分布를 보인 것이며 그림 6 은 X, Y, Z 座標에 대한 誤差를 算術平均하여 圖示한 것이다.

그림 5 에서 幾何學的 誤差와 實驗的인 誤差가 同一한 양상을 보이며 增加하고 있으며 48 枚의 경우가 더 密接하게 分布하고 있다. 또한 基準點의 數가 9, 6, 3, 2XY, 3Z 로 減少함에 따른 誤差의 증가추세는 MN 48, MN 36 의 경우 모두 매우 完滿한 것으로 보아 基準點數의 增減은 寫眞枚數와 相互補完의 關係에 있는것으로 思料된다. 그림 6 에서 幾何學的 誤差들의 경우 MN48 에서 약 20~40 μm , MN36 에서 약 35~40 μm 로 別차이를 보이고 있지 않으나 實驗的 誤差의 경우에는 MN48 에서 약 40~55 μm MN36 에서 약 55~70 μm 로 나타남에 따라 MN 48 의 경우가 약 24%의 誤差減少를 보여 良好함을 엿볼 수 있다. 非測定用 카메라의 組合으로 인하여 幾何學的 誤差와 實驗에 의한 誤差의 不一致를 가져오지만 精密한 lens calibration 를 實施하여 補正한다면 良好한 結果를 얻을 수 있을 것이다.

표 4 는 9 control points 에서 각 경우에 대한 誤差를 보인것이며 그림 7 은 이들 X, Y, Z 座標에 대한 각각의 標準誤差의 算術平均을 나타낸 것이다.

그림 7 에서 測定用 카메라에 의한 36 枚의 경우 幾何學的 誤差는 약 26 μm , 實驗에 의한 誤差는 약 39 μm 로 12 枚와 24 枚의 경우에 比하여 27%, 45% 와 31%, 46% 씩 각각 減少하였으나 非測定用 카메라와의 組合인 MN48 에서는 寫眞枚數가 增加하였기 때문에 幾何學的 誤差는 減少함에도 불구하고 實驗的 誤差는 增加하여 MN 36 에서는 각각 28.5 μm , 54.8 μm 를 보임으로서 MN48 에 비해 약 19%,

그림 4. The average standard error of Metric case & combined case at 9 Control points.

(μm)

standard error		Metric			Metric & Non-metric	
		12 photos	24 photos	36 photos	36+12 photos	24+12 photos
Simulated error	X_G	49.5	35.0	28.3	26.4	31.6
	Y_G	34.8	25.2	20.3	18.7	22.4
	Z_G	51.0	35.0	28.7	26.7	31.6
actual error	X_A	78.6	54.4	42.1	47.1	60.7
	Y_A	55.3	39.2	30.2	33.4	43.0
	Z_A	81.0	54.4	42.7	47.7	60.7

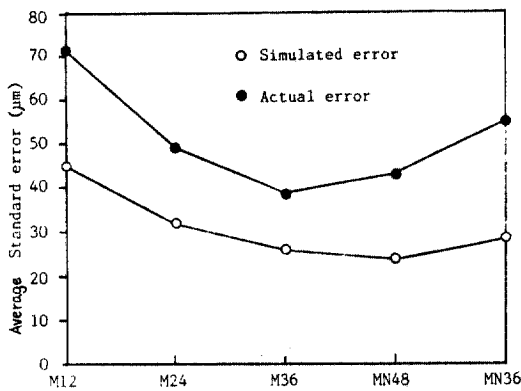


그림 7. The Standard Error of Metric Case & Combined Case at 9 Control Points.

28%의 減少를 보였다.

5. 結 論

測定용카메라에 의한 스트립組合, 非測定용카메라와 測定용카메라에 의한 스트립組合의 正確度를 分析한 結果 다음의 結論을 얻었다.

1) 測定용카메라에 의한 스트립解析의 경우 2 스트립, 3 스트립 모두 基準點數를 減少시킴에 따라 幾何學的 誤差는 일관성있는 增加를 보이나 實驗的 誤差는 6點의 基準點까지 減少하다가 다시 增加하여 2XY, 3Z 基準點에서 收斂하며 4~6點의 基準點에서 가장 낮은 誤差分布를 보인다.

2) 非測定용 카메라에 의한 12枚의 경우는 測定용 카메라에 의한 12枚의 경우보다 큰 誤差分布를 보

이나 5點의 基準點 前·後에서 약 100~150 μm 의 分布를 보이므로 렌즈의 歪曲補正을 實施하여 測定한다면 더욱 良好한 結果를 얻을 수 있을 것으로 思料된다.

3) 測定용 카메라에 非測定용 카메라를 組合하였을 때에도 현저한 誤差의 減少를 가져오므로 一時에 많은 測定을 要하는 경우, 이의 適用이 可能하다.

앞으로 測定용과 非測定용 카메라 組合解析의 研究開發 및 被寫體의 크기에 따른 最適 基準點數 및 攝影條件에 대한 持續的인 研究가 要望된다.

參 考 文 獻

1. Brown, Duane C., "Application of Close-Range Photogrammetry to measurement of Structures in Orbit," Final report, Contact No. : MOM 7DNS 895942, GSI Technical Report No. 80-012, Melbourne, Florida, september, 1980.
2. Atsushi Okamoto, "Orientation and Construction of Models", *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, Vol. 47, 1981, pp. 1437-1454.
3. El-Beik, A. H. A & R. Babel-Mahani, "The quadrastational Close-Range Photogrammetric system", *PE & RS* Vol. 50, No. 3 pp. 319-326, 1984.
4. Clive S. Fraser, "Photogrammetric measurement of Thermal Deformation of a large process Compressor," *PE & RS*, Vol. 51, No. 10, pp. 1569-1575, 1985.
5. Karara H. M. & Abdel-Aziz Y. L., "Accuracy aspect of Non-metric imageries," *PE & RS*, Vol. 40, No. 9, pp. 1107-1117, 1974.
6. David C. Goodrich, "A simple 35mm SLR Photogrammetric system for Glacier measurements," *PE & RS*, Vol. 48, No. 9, pp. 1477-1485, 1982.

7. R. Welch & T. R. Jordan, "Analytical Non-metric Close-Range Photogrammetry for monitoring Stream channel erosion," *PE & RS*, Vol. 49, No. 3, pp. 367-374, 1983.
8. Gosh, S. K., "Analytical Photogrammetry," 2nd, edition, Pergamon press, 1988.
9. 姜準默, "構造物 變形解析을 爲한 收斂多重 寫眞測定 의 技法開發," 大韓土木學會論文集, 7권 1호, pp. 131-139, 1987.
10. Kang Joon-Mook & R. J. Hintz, "An analysis of the Effect of varying camera positions on the Accuracies attainable by Non-convergent Close-Range Photogrammetry," *ASP 51th Meeting*, 1985.
11. Welch R., & K. Dijkers, "Educational and research Aspect of Non-metric Close-Range analogue Photogrammetry," *Photogrammetric record*, Vol. 9, No. 52, pp. 537-547, 1978.
12. Paul R. Wolf, "Elements of Photogrammetry," 2nd. edition, McGraw-Hill, New York, pp. 576-614, 1983.
13. Murai, S. H. Nakamura & Y. Suzuki, "Analytical Orientation for Non-metric cameras in the Application of Terrstrial Photogrammetry," *International achives of Photogrammetry XIV congress*, Vol. 23, Part 15, Hamburg, FRG, pp. 515-525, 1976.
14. Erlandson, J. P. & Veress, S. A., "Methodology and Standards for Structural Surveys," *ASP & RS*, pp. 575-596, 1975.
15. Hanspeter Bopp & Herber Krauss, "Photogrammetric Control survey of a Large Cooling tower," *ASP Proceeding*, pp. 433-439, Oct. 1977.
16. Stephan Zinndorf, "Optimization of Imaging configuration," *ASPRS-ACSM*, Vol. 7, pp. 1-9, 1987.
17. C. S. Fraser, "Periodic Inspection of Industrial Tooling by Photogrammetry," *PE & RS*, Vol. 54, No. 2, pp. 211-216, 1988.

(接受: 1989. 6. 10)