

近接寫眞測量的 網構成이 三次元 位置解析에 미치는 影響

The Effect of Network Geometry on Three-Dimensional Analysis in Close-Range Photogrammetry

李 鎮 德* 姜 準 默**
Lee Jin-Duk Kang Joon-Mook

要 旨

本 研究에서는 近接寫眞測量에 의하여 對象物의 全面에 대한 同時 精密 3次元 位置解析의 可能性을 提示하는 데 目的을 두었으며, 이를 위하여 network의 imaging geometry, 基準點 配置 등 幾何學的 配置를 고려하여 對象物의 全面을 被覆하는 스트립과 블록을 형성, 번들調整技法으로 解析을 시도하였다.

그 結果, 良好한 正確度로 全面解析의 可能性을 立證할 수 있었고, network의 幾何學的 配置에 따른 正確度의 特性을 導出하였다. 또한 局部的으로 配置된 少數의 基準點으로도 所期의 正確度를 얻을 수 있었으므로 全面解析을 위한 基準點 測量의 難題를 크게 줄일 수 있을 것으로 思料된다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to suggest possibility to analyze the three-dimensional positions of the whole surface of an object simultaneously and precisely by close-range photogrammetry. For this purpose, the geometry of network, namely imaging geometry and control configuration etc was considered, and then the whole surface of the object was analyzed by bundle adjustment through formation of strip and block with which cover the whole surface of the object.

As a result, we were able to prove possibility of the whole surface analysis of an object and to extract characteristics of accuracies in accordance with the number and configuration of control points. Also as desirable accuracies were able to be acquired even by employing configuration of only a few control point stationed on a limited surface, it is expected that the difficulties of control surveying will be able to be reduced considerably.

1. 序 論

近接寫眞測量은 被寫體 表面에 대한 同時 3次元 解析을 가능케 하므로 週期的인 診斷과 點檢을 요하는 構造物과 尖端施設의 變形測定, 영구 보존을 요하는 文化財와 같은 造形物의 精密形狀測定 등에 널리 應用되고 있으며, 縱來의 測定技法들에 비해 그 優越性이 立證되어왔다.

그러나 航空寫眞에 의한 地表面의 一面解析과는 달리, 이러한 非地形對象物들은 대부분 모든 방향의 全面解析을 요하므로 多重寫眞測量(mu-

lti-station photogrammetry)技法의 개발은 중요한 의미를 지니며, 近接多重寫眞測量的 network 계획은 특히 신중히 고려되어야 할 것이다. 精密度는 network의 幾何學的 配置 및 관련측정 값의 精密度의 函數로써 결정되어지기 때문이다^{1), 12)}.

Kenefick은 포물선 안테나의 측정에서 高正確度를 얻기위한 모니터링 시스템의 조건들을 제시하였으며²⁾, 1980년 Brown은 共線條件에 의한 번들調整을 이용하여 同時調整에 대한 接近方法을 제시하였다³⁾. Veress & Hazopoulos는 대형 포물선 안테나의 構造的 變形에 대한 모니터링을 위하여 地上寫眞과 航空寫眞의 組合接近方法을 시도하고 視差角의 概念에 의하여 바람직

* 忠南大學校 博士課程, 金烏工大 專任講師

** 忠南大學校 工科大學 副教授

한 幾何學的 條件과 設計基準을 제시하였으며⁴⁾, Fraser는 最小制約 配置의 變化가 對象點 位置의 精密度에 미치는 영향⁵⁾, 變形解析을 위한 network의 特性에 관한 研究結果 등을 발표하였다^{6),7)}.

本 研究에서는 地上測定用 寫眞機를 사용하여 垂直, 傾斜 및 收斂攝影을 다양하게 실시, 對象物의 全面을 被覆하는 스트립과 블럭에 대한 同時解析을 시도하고자 하였다. 側面은 물론 上面 및 下面까지 포함한 全面解析에 있어서 露出點 位置(X_L, Y_L, Z_L)의 決定과 복잡하게 구성되는 標定因子(ω, ϕ, κ)의 初期近似값 決定, 基準點 測量, 攝影시스템 및 解析技法 등 여러가지 難題들을 해결하면서 所期의 正確度를 얻기 위한 network 設計의 基準이 되는 要素, 즉 imaging geometry, 露出點과 基準點의 配置에 따른 3次元 位置解析의 特性 등의 實驗的으로 究明하는데 本 研究의 目的이 있다.

2. 觀 測

(1) NETWORK 構成 및 攝影

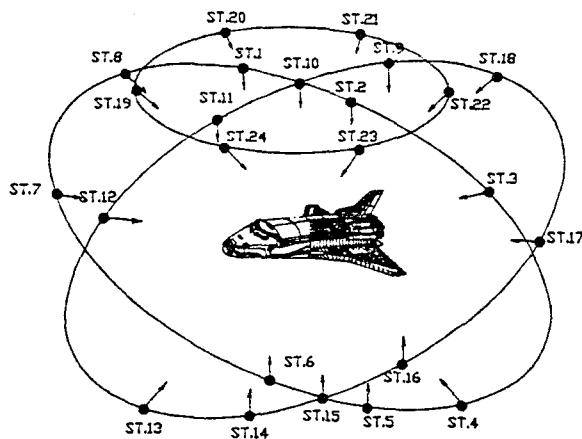


Fig. 1. Configuration of exposure stations and imaging geometry.

全面의 精密測定을 위한 實驗對象으로서 模型 航空機를 선정하였고, 對象物의 表面에 12개의 基準點과 70개의 未知點을 가능한한 均일하게 배치하였다. Imaging geometry는 Fig. 1에 圖

示한 바와 같이 垂直, 傾斜 및 收斂攝影으로 얻어진 18매의 사진으로 全面을 被覆시킴으로써 스트립 또는 블럭 형성을 통한 해석을 할 수 있도록 하였다.

촬영거리는 深度를 고려하여 F-stop 22, circle of confusion의 直徑 $30 \mu\text{m}$ 以內的 범위에서 계획하였다. 따라서 垂直攝影은 촬영거리 1.4 m에서 隣接垂直寫眞 간에 70%의 重複度를 갖도록 하여 下向(ST.1, ST.2, ST.9, ST.10, ST.11), 上向(ST.5, ST.6, ST.14, ST.15, ST.16) 각 5점씩 10점의 露出點을 설정하였고, 傾斜攝影은 촬영거리 2.5 m에서 수평을 기준으로 下向 30° (ST.3, ST.8, ST.12, ST.18), 上向 30° (ST.4, ST.7, ST.13, ST.17)의 경사를 주어 마주대하는 두 光軸이 被寫體의 中央點에서 視差角 60° 로 교차하도록 8점의 露出點을 설정하였다.

또한 上面解析에 대한 正確度 樣相을 考察하기 위하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 촬영거리 1.8 m에서 下向 45° 의 傾斜收斂攝影을 위한 6점의 露出點(ST.19~ST.24)을 설정하였다. 이때 사용된 P31 測定用 寫眞機의 format 특성 때문에 被寫體가 필름 내에 적절히 포함될 수 있도록 κ 를 180° 회전시켜 촬영하였다.

<Fig. 1>에 표시된 24점의 露出點에 대한 外部 標定媒介變數의 初期近似값은 <Table 1>과 같다.

(2) 基準點 測量

對象物 表面에 均일하게 배치한 12개의 基準點에 대한 精密 3次元座標를 얻기 위하여 대상물 주위 4점에 1秒讀(0.1秒 分解能) 데오돌라이트(Wild DKM-2A)를 설치하여 基準點에 대한 三角測量을 실시하였다. 이때 T_1 점에 설치한 데오돌라이트의 망원경 내 십자선 교점의 좌표를 (0, 0, 0)로 설정하여 T_2, T_3, T_4 의 수평 위치를 결정하였으며, 정밀레벨을 이용하여 4점에 순차적으로 설치한 데오돌라이트의 십자선 교점 간의 고저차를 관측, T_2, T_3, T_4 의 수직 위치를 결정하였다.

여기서 얻어진 12점의 基準點 測量成果는 <Table 2>와 같다.

Table 1. Initial approximate values of exterior orientation parameters

exposure station No.	ω (deg.)	φ (deg.)	κ (deg.)	X_L (mm)	Y_L (mm)	Z_L (mm)
1	-90	0	0	1500	5900	3200
2	-90	0	0	2200	5900	3200
3	-90	60	90	4200	5900	3200
4	90	60	-90	4200	3200	3200
5	90	0	180	2200	3000	3200
6	90	0	180	1500	3000	3200
7	90	-60	90	-400	3200	3200
8	-90	-60	-90	-400	5900	3200
9	-90	0	90	1800	5900	2500
10	-90	0	90	1800	5900	3200
11	-90	0	90	1800	5900	3900
12	-30	0	0	1800	6100	5800
13	30	0	0	1800	3200	5800
14	90	0	90	1800	3000	3900
15	90	0	90	1800	3000	3200
16	90	0	90	1800	3000	2500
17	-30	180	0	1800	3200	600
18	30	180	0	1800	6100	600
19	90	-130	270	400	5900	3200
20	50	-160	200	1200	5900	2000
21	50	160	160	2500	5900	2000
22	-90	40	270	3200	5900	3200
23	-50	20	200	2500	5900	4400
24	-50	-20	160	1100	5900	4400

Table 2. 3-D coordinates of 12 control points

control point No.	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
C 1	1377.031	4548.625	3202.644
C 2	1617.097	4633.975	2962.767
C 3	1616.775	4646.303	2674.165
C 4	1603.811	4643.309	3456.577
C 5	1598.103	4665.302	3768.326
C 6	1967.301	4576.756	3216.445
C 7	2177.276	4566.124	3069.502
C 8	2170.017	4566.108	3369.102
C 9	1553.219	4496.850	3153.247
C 10	1800.323	4500.011	3162.443
C 11	1506.948	4497.543	3261.432
C 12	1809.439	4489.037	3263.345

Table 3. Average standard error vs. the number of control points in the whole surface analysis

the # of control points	simulated error(μm)			actual error(μm)		
	X_G	Y_G	Z_G	X_M	Y_M	Z_M
12	38.4	101.6	52.5	42.6	112.8	58.3
11	41.8	104.3	55.8	54.5	136.0	72.8
10	46.9	106.3	60.7	62.2	141.0	80.5
9	48.0	117.1	64.3	64.8	158.0	86.7
8	50.1	124.8	69.7	89.5	223.0	124.6
7	50.5	126.2	70.2	88.1	220.1	122.4
6	51.5	128.3	71.0	90.5	225.6	124.8
5	52.5	130.6	72.2	91.6	227.8	125.9
4	53.4	131.8	73.5	95.6	236.1	131.6
3	54.3	134.0	74.6	91.7	226.2	125.9
2X, 2Y, 3Z	68.8	364.3	114.8	92.6	490.3	154.5

3. 結果의 分析

모든 사진좌표 x, y 에는 각각 $3\mu\text{m}$ 의 標準誤差의 推定値를 적용하여 輕重率을 算定하였고, 모든 基準點座標는 固定된 既知값으로 간주하여 共線條件을 이용한 번들調整技法으로 space resection과 space intersection을 수행하였다.

本 研究에서는 標準誤差를 $S_x = S_0 \sqrt{(Q_{x_i x_i})}$ 에 의하여 simulated error와 actual error로 분석하였으며, X, Y, Z 방향의 各 標準誤差는 모든 사진에 나타난 未知點들의 標準誤差를 평균한 값으로 나타내었다.

<Table 3>과 <Fig. 2>는 18매의 사진으로 對象物의 全面을 同時解析한 結果로서, 上面과 側面에 加급적 高르게 배치한 12개의 基準點들을 한 점씩 순차적으로 감소시켜가면서 해석한 경우, 基準點 數에 따른 X, Y, Z의 標準誤差를 나타낸 것이다. 各 방향의 精密度는 X가 가장 높고 Z, Y의 順으로 나타나고 있으며, X와 Z방향의 標準誤差가 비교적 類似한 變化樣相을 보이고 있다. 이는 對象物의 形狀이 X, Z방향에 비하여 Y방향에서 그 幅이 좁기 때문에 그에 따른 基準點配置에 그 原因이 있는 것으로 思料된다.

Simulated error X_G, Y_G, Z_G 는 12개 基準點에서 3개 基準點까지 한 점씩 감소함에 따라 各 段階에서 $5\mu\text{m}$ 前後로 微小하게 증가하나, 最小

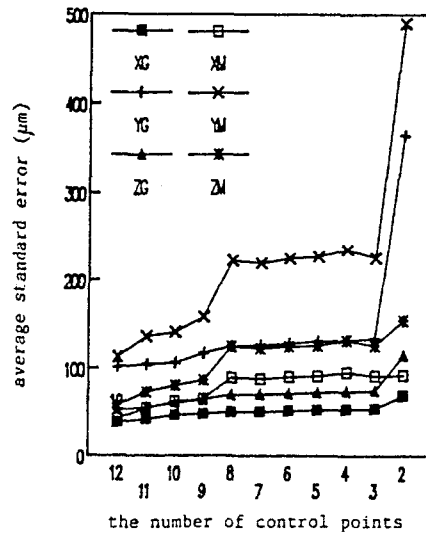


Fig. 2. Average standard error vs. the number of control points in the whole surface analysis.

基準點配置(2X, 2Y, 3Z)에서는 3개 基準點인 경우에 비하여 X는 약 1.3배, Y는 2.7배, Z는 1.5배 정도 급격하게 증가하고 있다. Actual error X_M, Y_M, Z_M 은 12개 基準點에서 9개 基準點까지는 5%~25%의 微小한 증가를 보이다가 8개 基準點으로 변하는 구간에서 X_M, Y_M, Z_M 이 각각 40% 정도의 비교적 급격한 誤差增加를 보였다. 8개 基準點에서 7개 基準點으로의 감소 구간과 4개 基準點에서 3개 基準點으로의 감소

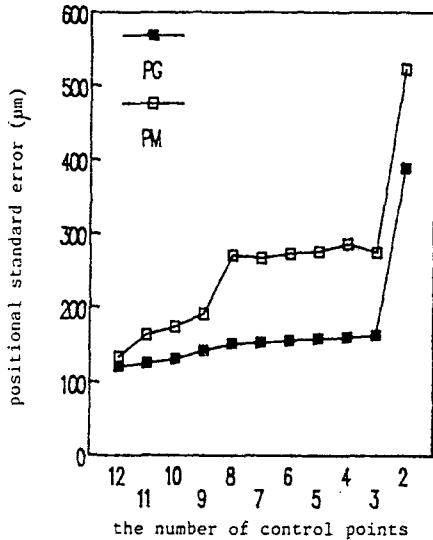


Fig. 3. Positional standard error vs. the number of control points in the whole surface analysis.

구간에서는 X_M, Y_M, Z_M 이 오히려 미소하게 감소하고 있다. 이것은 基準點 C1과 C8의 機械座標測定값이 각각 나머지 7개 基準點(C2~C8)과 3개 基準點(C2, C4, C7)의 機械座標測定값에 비해 精密度가 낮음에 起因된 것으로 思料된다.

(Fig. 3)은 (Table 3)의 結果를 3次元位置標準誤差로 나타낸 것이다. 여기서 PG는 幾何學的 位置誤差(simulated positional errors)이고 PM은 實驗에 의한 位置誤差(actual positional errors)이다.

以上の 結果에서 基準點數가 많을수록 結果의 正確度는 높게 나타나지만 어느 限度 以上에서는 基準點數가 位置解析의 正確度에 그다지 影響을 미치지 않음을 알 수 있다. 또한 基準點에 대한 測量成果와 機械座標를 精確하게 얻을 수 있다면 3개의 基準點만으로도 所期의 正確度를 얻을 수 있으며 基準點의 最小配置(2X, 2Y, 3Z)는 加 급적 피하는 것이 바람직한 것으로 思料된다.

(Fig. 4)는 對象物의 上面과 側面에 크게 배치된 12개의 基準點 중에서 上面의 8개 基準點(C1~C8)을 이용하여 해석한 경우 各面에 배

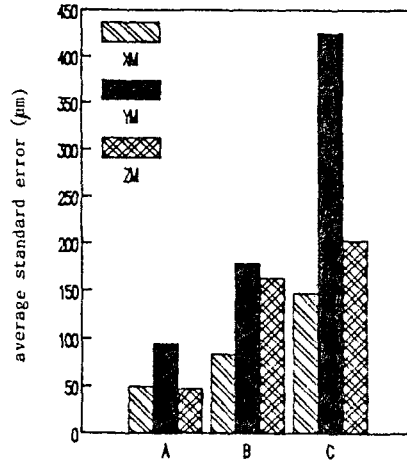


Fig. 4. Average actual standard error of the top side and undersurface (employing 8 control points on the top surface)

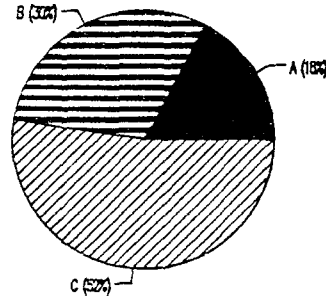


Fig. 5. Relative error ratio of the top, side and under surface.

치된 未知點들의 標準誤差의 平均値를 比較 圖示한 것이다. 여기서 A는 上面의 未知點, B는 側面의 未知點, C는 下面의 未知點들을 의미한다. 上面(A)에 배치된 未知點들의 X, Y, Z 標準誤差가 각각 $50 \mu\text{m}$, $94 \mu\text{m}$, $47 \mu\text{m}$ 으로 가장 낮은 分포를 보였으며, 側面(B)에서는 $84 \mu\text{m}$, $178 \mu\text{m}$, $163 \mu\text{m}$ 으로 上面에 비하여 X, Y, Z 방향에서 각각 1.7배, 1.9배, 3.5배 정도의 높은 分포를 나타내었다. 또한 下面(C)에 배치된 未知點들의 X, Y, Z 標準誤差는 각각 $147 \mu\text{m}$, $425 \mu\text{m}$, $202 \mu\text{m}$ 으로 上面(A)에 비해 X, Y, Z 방향에서 무려 3배, 4.5배, 4.3배의 급격한 증가를 보였으며, 側面(B)에 비해서도 1.8배, 2.4배, 1.2배 정도의 높은 分포를 보였다. 이것은

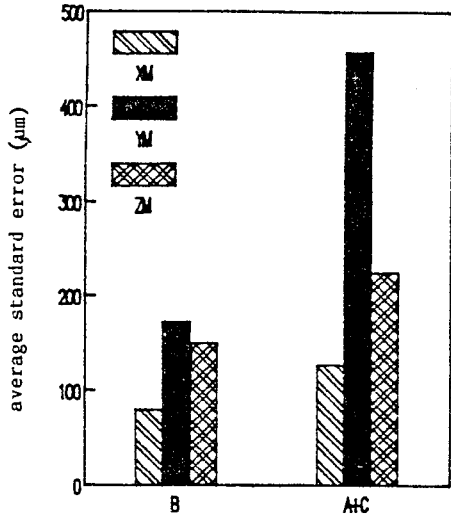


Fig. 6. Average actual standard error of the side and the top and under surface. (employing 4 control points on the side surface)

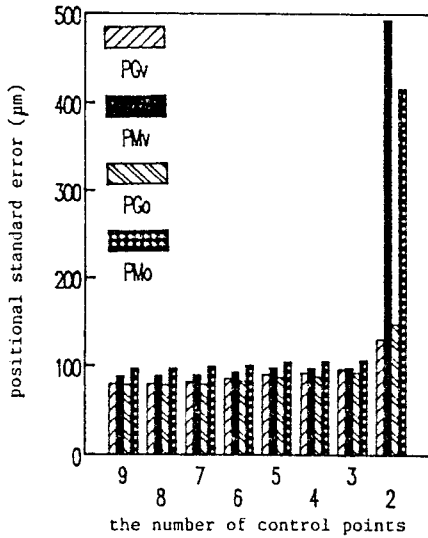


Fig. 7. Positional standard error vs. the number of control points in the top surface analysis.

局部的인 基準點配置가 側面과 下面의 未知點들의 解析에 얼마나 큰 영향을 미치는가를 잘 나타내주고 있다. <Fig. 5>는 이것을 相對的 誤差 分布率로 圖示한 것이다.

<Fig. 6>은 側面に 배치된 4개 基準點(C10, C11, C12, C13)을 이용하여 해석한 경우 側面(B)

과 上下面(A+C)에 배치된 未知點들의 標準誤差 平均値를 比較 圖示한 것이다. 側面 未知點들의 X_M, Y_M, Z_M 은 각각 $80 \mu m, 172 \mu m, 150 \mu m$, 上下面의 未知點들의 X_M, Y_M, Z_M 은 각각 $127 \mu m, 457 \mu m, 225 \mu m$ 을 나타내었다. 즉 基準點을 포함하는 側面에서 上面 또는 下面으로 갈수록 X, Y, Z 精密度가 각각 1.6 배, 2.7 배, 1.5 배 정도 低下되었다. 따라서 基準點을 포함하는 부분에서 未知點까지의 거리가 멀어짐에 따라 그 點의 精密度는 점차 낮아짐을 알 수 있다.

<Fig. 7>은 垂直攝影과 30° 傾斜攝影으로 얻어진 9매의 사진(vertical ST. 1, 2, 9, 10, 11; oblique ST. 3, 8, 12, 18)과 6매의 45° 傾斜收斂寫眞(ST. 19~24)을 통해 對象物의 上面에 대한 解析結果를 位置誤差로 나타낸 것이다. 전반적으로 9매 사진에 의한 경우가 6매 傾斜收斂寫眞에 의한 경우에 비해 약간 양호한 것으로 나타났으나, 傾斜收斂寫眞의 경우가 촬영거리 2.5 m에서 6매로 해석한 것을 고려한다면, 동일한 조건에서는 傾斜收斂寫眞에 의한 解析이 오히려 적은 사진枚數로 보다 良好한 結果를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

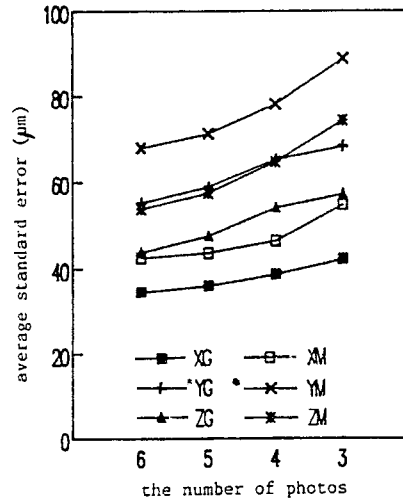


Fig. 8. Average standard error vs. the number of photos in the top surface analysis.

<Fig. 8>은 傾斜收斂寫眞 6매(ST. 19~24)로부터 3매까지 한매씩 줄여가며 解析한 結果로서, 사진枚數에 따라 標準誤差가 一貫性 있게 변

화하고 있다.

4. 結 論

全面解析을 요하는 對象物에 대하여 垂直, 傾斜 및 收斂攝影을 실시, 번들調整을 통하여 解析하고 network 構成에 따른 標準誤차를 分析한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 모든 寫眞座標의 標準誤차를 $3\mu\text{m}$ 으로 일정하게 附與하고 12개 基準點을 이용한 경우 X, Y, Z의 標準誤차가 각각 $43\mu\text{m}$, $113\mu\text{m}$, $58\mu\text{m}$, 3개 基準點을 이용한 경우 $92\mu\text{m}$, $226\mu\text{m}$, $126\mu\text{m}$ 를 얻었으므로 스트립 형성을 통한 全面解析의 可能性을 立證할 수 있었다.
- 2) 全面解析을 위한 space resection 을 수행함에 있어 특히 外部標定廻轉要素의 初期近似값 決定은 매우 중요한 의미를 지니며, 基準點座標와 機械座標를 정확하게 얻을 수만 있다면 局部的으로 配置된 3개의 基準點, 또는 2X, 2Y, 3Z 配置만으로도 所期의 正確度를 얻을 수 있으므로 要求正確度에 따라 基準點測量의 難題를 줄일 수 있을 것이다.
- 3) 對象物이 小型인 경우는 물론, 大型의 對象物을 局部的으로 해석할 경우 垂直寫眞보다는 傾斜收斂寫眞을 이용하는 편이 비교적 적은 사진枚數로 良好한 結果를 얻을 수 있으며, 基準點을 포함하는 부분에서 對象點까지의 거리가 멀어짐에 따라 正確度에 현저한 차이를 나타내므로 가능한한 對象物의 全面에 고른 密度로 基準點을 배치하는 것이 바람직하다.

謝 辭

本 研究는 1989 年度 韓國科學財團의 博士學位論文 研究費支援으로 이루어졌기에 同財團에 深甚한 謝意를 表합니다.

參 考 文 獻

1. Fraser, C. S., 1984, "Network Design Considerations for Non-Topographic Photogrammetry," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 50, No. 8, pp.1115-1126.
2. Kenefic, J. F., 1971, "Ultra-Precise Analysis," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 37, No. 11, pp.1167-1187
3. Brown, D. C., 1980, *Application of Close-Range Photogrammetry to Measurements of Structures in Orbit*, GSI Technical Report No. 80-012, Geodetic Services Inc., Melbourne. Florida, Vol. 1, 131p.
4. Veress, S. A. and J. N. Hatzopoulos, 1981, "A Combination of Aerial and Terrestrial Photogrammetry for Monitoring," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 47, No. 12, pp.1725-1731.
5. Fraser, C. S., 1982, "Optimization of Precision in Close-Range Photogrammetry," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 48, No. 4, pp.561-570.
6. Fraser, C. S., 1987, "Limiting Error Propagation in Network Design," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp.487-493.
7. Fraser, C. S., 1988, "Periodic Inspection of Industrial Tooling by Photogrammetry," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2, pp.211-216.
8. Kang, Joon-Mook, Hintz, R. J. and Christos Karakadas, 1989, "Analysis of Pavement Cracking and Rutting Using Close-Range Photography," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 2, pp.183-189.
9. Ghosh, S. K., 1988, *Analytical Photogrammetry*, 2nd ed., Pergamon Press.
10. El-Hakim, S. F., 1985, "Photogrammetric Measurement of Microwave Antennae," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 51, No. 10, pp.1577-1581.
11. Niemeier, W., 1982, "Design, Diagnosis and Optimization of Monitoring Networks in Engineering Surveying," Paper Presented to The Centennial Convention of CIS, Ottawa.
12. Karara, H. M., 1989, *Non-Topographic Photo-*

grammetry, 2nd ed., ASP & RS.

13. 姜準默, 吳元鎮, 韓承熙, 1989, "Multiple Method

에 의한 Strip 組合解析에 관한 研究," 大韓土木學會論文集, Vol. 9, No. 3, pp. 89-95.