

文化財 保存을 위한 圓形strip의 最適解析

The Optimal Analysis of Circular Strip for Conservation of the Cultural Properties

姜 準 默*
Kang, Joon Mook

.....

Abstract

For this study, the full-scale model of Chumsungdae was selected as an object, and various photographs were obtained with metric camera for forming circular strips and blocks. The accuracies were analyzed according to the change of object distance and different configuration of control points by bundle adjustment, and the characteristics of results obtained through combined strips were drawn. This thesis suggests optimal analysis technique of cylindrical structures requiring all-side analysis such as cultural properties. As a result, it is possible to use control points positioned on only any one-side for all-side analysis, and control configuration is more important rather than the number of control points for increasing accuracy. In addition, it is desirable to locate control points in X, Y and Z plane uniformly, and it was shown as object distance was shorten and the number of combined strips increases, the accuracy of results was improved considerably.

.....

要 旨

본 연구는 실제크기의 첨성대 모형을 피사체로 선정하여 측정용 카메라에 의해 원형 strip과 block 을 형성한 후, bundle조성으로 촬영거리와 기준점 배치에 따른 정확도를 다양하게 분석하고 strip조합 해석의 특성을 규명하므로써 全面해석을 요하는 각종 문화재 특히 원통형 구조물에 대한 최적 해석기법을 제시한 것이다. 연구결과 어느 일면에 배치된 기준점 만으로도 전면해석이 가능하며, 기준점수에 비해 그 배치가 정도에 보다 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한 구조물의 전면해석시 기준점은 X, Y, Z 축 평면상에 고루 배치하는 것이 이상적이며, 근접촬영하여 strip조합수를 증가시킴에 따라 정확도가 현저히 향상되었다.

.....

*正會員 · 忠南大學校 工科大學 土木工學科 副教授

1. 서 론

Close-Range Photogrammetry는 지형도 제작을 목적으로 촬영대상 지역과 camera를 일정관계로 유지해야 하는 항공사진측량과는 달리 camera와 측정대상물의 관계를 자유로이 변화시켜 적용할 수 있고 반복측정 및 촬영위치를 사전에 알 수 있으므로^(6,12) 대상물의 수많은 점들에 대한 3차원 위치해석이 단시간내에 가능하다는 잇점때문에 각종 산업, 의학, 고고학은 물론 문화재 및 첨단구조물의 정밀측정에 널리 그 이용이 기대되고 있다^(6,14). 따라서 최근 Close-Range Photogrammetry기법을 이용한 구조물 해석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 대부분 stereo사진에 의한 국부적 해석 및 도화가 대부분이다^(6,10). 그러나 구조물 및 중요문화재 등에 대한 정밀측정은 모든방향에 대한 전면해석을 요한다는 사실에 비추어 볼때, 다중 사진에 의한 bundle조정을 통하여 대상물의 전면해석을 시도한다면 신속하고도 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 문화재 보존 및 복원을 위한 최적 해석과정을 일괄적이고 연속적으로 처리할 수 있도록 On-Line System화 하여 전면해석을 요하는 첨성대와 같은 실제 중요 문화재를 대상으로 다중사진측량을 실시하여 다중 원형 strip에 의한 구조물 해석기법의 실제 적용타당성을 제시하는 한편, 촬영거리에 따른 거리경중률과 strip수, 기준점수 및 배치에 따른 오차의 특성을 분석하여 원통형 구조물의 전면해석에 대한 최적해석기법을 제시하여 보다 효율적인 Close-Range Photogrammetry의 적용방법을 모색하고자 하는데 그 목적을 두었다.

2. 해석이론

다중사진기법에 의해 원형 strip과 block을 형성, n개의 점들을 포함한 피사체를 m장의 사진 block을 피복했을때 i번째 사진의 j번째 상점에 의해 형성된 공선조건식을 matrix형태로 나타내면 다음과 같다^(5,7).

$$V_{ij} + B_{ij} \dot{\Delta}_i + B_{ij} \ddot{\Delta}_j = E_{ij} \quad (2-1)$$

(2,1) (2,6)(6,1) (2,3)(3,1) (2,1)

여기서 $V_{ij} = [V_x \ V_y]_{ij}$: 측정된 사진좌표들의
잔차행렬

$$\dot{B}_{ij} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_6 \\ b_1 & b_2 & b_3 & \dots & b_6 \end{bmatrix}_{ij}$$

: 계수행렬로서 각 요소들의 미지의부 표정 요소에 대한 공선조건식의 편도함수

$$\dot{\Delta}_i = [\Delta\omega \ \Delta\phi \ \Delta_k \ X_0 \ Y_0 \ Z_0]_i$$

: 미지의부 표정요소의 근사값에 대한 보정량

$$\ddot{B}_{ij} = \begin{bmatrix} a_7 & a_8 & a_9 \\ b_7 & b_8 & b_9 \end{bmatrix}_{ij}$$

: 계수행렬로서 각 요소들은 미지점 좌표에 대한 공선조건식의 편도함수

$$\ddot{\Delta}_{ij} = [\Delta_x \ \Delta_y \ \Delta_z]_{ij}$$

: 미지점 좌표의 근사값에 대한 보정량

$$E_{ij} = [f_{(x)} \ f_{(y)}]_{ij}$$

: 미지매개변수에 근사값을 대입하여 계산된 값.

따라서 모든 n개의 점들에 대한 공선조건식은 다음과 같다.

$$V + \dot{B}\dot{\Delta} + \ddot{B}\ddot{\Delta} = E \quad (2-2)$$

이 모델에 외부표정요소와 기지의 피사체 공간좌표에 대한 관측방정식을 부가하여 외부표정 요소에 대한 관측방정식으로 나타내면 다음과 같으며,

$$\dot{V} - \dot{\Delta} = \dot{C} \quad (2-3)$$

모든 n개점의 피사체공간좌표에 대한 관측방정식은 다음과 같다.

$$\ddot{V} - \ddot{\Delta} = \ddot{C} \quad (2-4)$$

식(2-2), (2-3), (2-4)를 single matrix 방정식으로 나타내면,

$$\begin{bmatrix} \dot{V} \\ \ddot{V} \\ \dot{V} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{B} & \ddot{B} \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\Delta} \\ \ddot{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ \dot{C} \\ \ddot{C} \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

$$\text{즉, } \bar{V} + \bar{B}\bar{\Delta} = \bar{C}$$

이를 정규방정식으로 나타내면,

$$(\bar{B}^T \bar{W} \bar{B}) \bar{\Delta} = \bar{B}^T \bar{W} \bar{C}$$

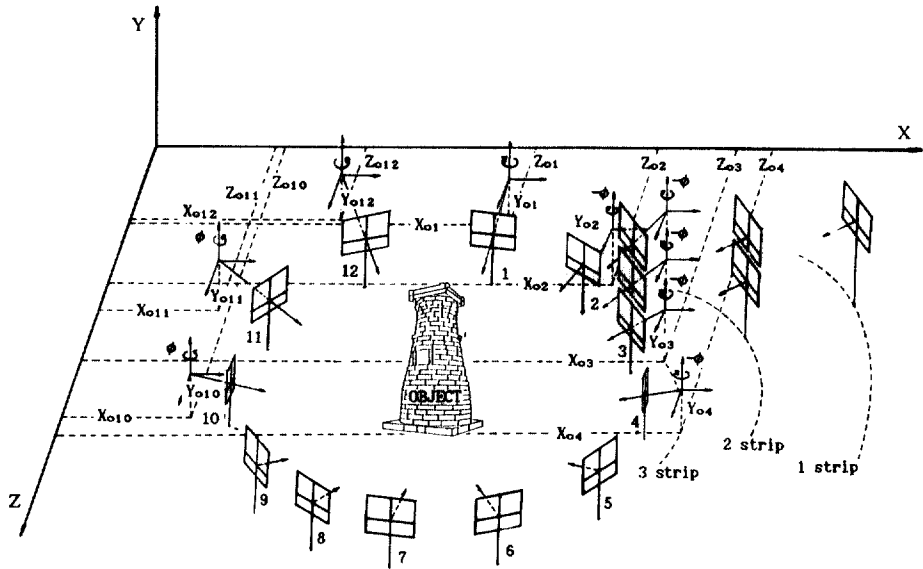


그림 2-1. Space resection & space intersection by multiple photographs using collinearity condition

여기서 W 는 경중를 행렬이다. 그러므로 최소
제공해는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = (\overline{B^T W B})^{-1} \overline{B^T W C}$$

식 (2-5)를 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$N \cdot A = K \quad (2-6)$$

식 (2-6)은 다음과 같은 두개의 행렬식으로
다시 나누어 표시할 수 있다.

$$\dot{N}A + \ddot{N}A = K \quad (2-7)$$

$$\overline{N^T}A + \ddot{N}A = K \quad (2-8)$$

식 (2-8)을 A 에 대해 풀면,

$$\dot{A} = \dot{N}^{-1}(\dot{K} - \ddot{N}^T A) \quad (2-9)$$

식 (2-9)를 식 (2-7)에 대입하면,

$$\dot{N}A + \ddot{N}\dot{N}^{-1}(\dot{K} - \ddot{N}^T A) = K$$

$$(\dot{N} - \ddot{N}\dot{N}^{-1}\ddot{N}^T)A = (\dot{K} - \ddot{N}\dot{N}^{-1}K) \quad (2-10)$$

식 (2-10)은 다음과 같은 축약정규방정식으로 나타낼 수 있다⁽⁷⁾.

$$S \cdot A = E \quad (2-11)$$

(6m, 6m) (6m, 1) (6m, 1)

식 (2-11)의 구조는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} N_{11} + \dot{W}_1 + S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1m} \\ S_{12}^T & N_{22} + \dot{W}_2 + S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2m} \\ S_{13}^T & S_{23}^T & N_{33} + \dot{W}_3 + S_{33} & \cdots & S_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1m}^T & S_{2m}^T & S_{3m}^T & \cdots & N_{mm} + \dot{W}_m + S_{mm} \end{bmatrix} \begin{matrix} 6m \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{A}_1 \\ \dot{A}_2 \\ \dot{A}_3 \\ \vdots \\ \dot{A}_m \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ \\ \\ \\ 6m \end{matrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ \vdots \\ E_m \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ \\ \\ \\ 6m \end{matrix} \quad (2-12)$$

여기에서 \dot{N}_{ii} 는 6×6의 부분행렬이고 S_{ik} 는 6×6의 부분행렬, E_i 는 6×1의 부분행렬이며,

$$S = \sum_{j=1}^n [\dot{N}_j - \overline{N}_j(\dot{N}_j + \dot{W}_j)^{-1}\ddot{N}_j^T] + \dot{W}$$

$$E = \sum_{j=1}^n [\dot{K}_j - \overline{N}_j(\dot{N}_j + \dot{W}_j)^{-1}(\dot{K}_j - \ddot{W}_j \dot{C}_j)] - \ddot{W} \dot{C}$$

식 (2-11)의 \dot{A} 에 대한 해를 구한 후 종점합점(pass point)에 관한 피사체 공간좌표의 보정량을 구한다.

식 (2-9)에서 \dot{N}^{-1} 가 대각선 행렬이므로 각 피사체 점에 대한 독립방정식으로 분할된다.

즉,

$$\dot{A}_{(3,3)} = (\dot{N}_j + \dot{W}_j)^{-1}(\dot{K}_j - \ddot{W}_j \dot{C}_j - \ddot{N}_j^T A) \quad (2-13)$$

미지매개변수에 대한 분산-공분산 행렬은 최소제곱조정을 이용하여 얻을 수 있다. σ_2 가 외부표정요소에 대한 분산-공분산 행렬이라 할때

$$\sigma_j = \alpha_0^2 S^{-1} \quad (2-14)$$

여기서 α_0^2 은 단위경중률에 대한 분산을 나타내며, σ_j 가 피사체 공간상의 점 j 의 좌표(X, Y, Z)에 대한 분산-공분산 행렬이라 할때 식 (2-13)으로부터

$$\sigma_j = \alpha_0^2 (\dot{N}_j + \dot{W}_j)^{-1} + Q_j \sigma_j \quad Q_j^T \quad (2-15)$$

여기서 $Q_j = (\dot{N}_j + \dot{W}_j)^{-1} \dot{N}_j^T$

식 (2-13)에 의해 계산된 공간좌표에 대한 보정량 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 를 미지매개변수의 근사값에 적용, 이를 새로운 근사값으로 하여 보정량이 무시할 정도로 작아질 때까지 반복 계산한다.

3. 실험

피사체는 전면해석을 요하는 원통형 구조물로 대덕연구단지의 국립종합과학관내에 건립되어 있는 실물크기와 동일한 모형 점성대를 선정하였다. 원통형 피사체의 표면에 횡방향으로 약 70cm, 종방향으로 약 230cm 간격으로 114개의 미지점과 횡방향으로 약 120cm, 종방향으로 약 160cm 간격으로 20개의 기준점을 균일하게 배치하였다. 카메라의 화각, 중복도등을 고려하여 노출점은 1strip의 경우 촬영거리 15m, 높이 1.3m인 지점에 12개, 2strip의 경우 촬영거리 10m, 높이 3.8m, 0.5m인 지점에 12개씩 24개, 3strip의 경우 촬영거리 7m, 높이 4.0m, 1.7, -0.6m인 지점에 12개씩 36개로 총 72개를 설치하였으며 이때의 높이는 기준점 측량시 theodolite 광축으로부터의 수직거리이다. Strip간의 중복도는 공히 60%가 되도록 하였다. 20개의 기준점에 대한 삼각측량은 피사체 표면으로부터 약 17m 거리에 8점의 기준 삼각점을 설치하여 측정하였으며, 8개의 기준삼각점이 모두 시준되는 지점에 정밀레벨을 설치하여 기준삼각점 간의 theodolite 높이차를 측정할 수 있도록 하였다. 그리고 8점의 기준삼각점은 연속 사변형망을 형성하여 기준삼각점의 위치를 정확히 계산할 수 있도록 하였다.

Wild P-31 Metric Camera를 이용, 촬영거리 15m의 경우 25m용 ring을 사용하여 촬영하였고, 이때의 circle of confusion의 지름이 약 12 μ m이내가 되도록 f-stop을 22로 촬영하였다. 촬영거리 7m에서는 7m용 ring을 사용하였고, 10m에서도 7m용 ring을 부착, circle of confusion의 지름이 20 μ m이

내가 되도록 f-stop을 22로 촬영하였다. 1 strip의 경우 촬영거리 15m에서 12매, 2 strip의 경우 촬영거리 10m에서 top strip 12매, bottom strip 12매, 3 strip의 경우 촬영거리 7m에서 top strip 12매, middle strip 12매, bottom strip 12매로 총 72매의 negative film을 얻었다. 노출점의 X, Y, Z좌표에 대한 초기 근사값은 Transit을 이용하여 관측하였으며 기준삼각점 중 한점을 택하여 원점(0, 0, 0)으로 계산하였다. Camera의 회전요소 ω, ϕ, κ 중 ϕ 값은 30° 간격으로 촬영하였으므로 각각 30° 차이로 초기 근사값을 정하였으며, ω 와 κ 는 0°로 초기근사값을 설정하였다. 촬영된 negative film의 기계좌표는 Kern MK-2 Mono-Comparator를 이용하여 측정하였다.

4. 결과분석

정확도를 분석하기 위해 control point의 수와 배치 및 촬영거리에 따른 기하학적 표준오차(XG, YG, ZG)와 실험적 표준오차(XM, YM, ZM)를 산출하여 비교하였으며, 기하학적 3차원 위치오차(PG)와 실험적 3차원 위치오차(PM), 촬영거리에 대한 기하학적 비례정확도(AG)와 실험적 비례정확도(AM)로도 비교하였다. 각각의 표준오차는 각 촬영거리에서 계산된 106점의 미지점에 대한 표준오차를 산술평균한 것으로 하였다.

4.1 기준점의 배치에 따른 오차특성

4.1.1 평면적 배치

3차원 구조물의 정밀측정에 있어서 기준점 배치가 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 원통형 피사체의 전면배치되어 있는 기준점 중 X-Y측 평면(B type), Y-Z측 평면(C type), Z-X측 평면(D type)상의 3점을 택하여 해석한 경우를 X-Y-Z측 평면(A type)상의 3점의 기준점을 이용하여 해석한 경우와 X, Y, Z좌표에 대한 기하학적 표준오차 XG, YG, ZG로 비교 분석하였다.

표 4.1은 촬영거리 15m, 10m, 7m에서 촬영한 12매, 24매, 36매의 사진을 각각 다른 3점의 기준점을 이용하여 3회에 걸쳐 해석한 기하학적 표준오차를 산술평균한 것으로 이를 도시하면 그림 4.1과 같다. X, Y, Z 오차분포는 각 촬영거리에서 A, B, C, D type이 동일한 양상으로 나타나 본 실험의 신뢰성을 엿볼 수 있다. X, Y, Z축상의 기준점을 이용하여

표 4.1 Average standard error for each type (object distance 15m, 10m, 7m)

(unit : μm)

type	15m			10m			7m		
	XG	YG	ZG	XG	YG	ZG	XG	YG	ZG
A	581.6	432.8	596.5	327.1	248.8	339.9	207.7	158.7	208.9
B	855.8	686.1	914.5	512.9	377.2	506.1	302.4	240.7	316.5
C	692.9	514.9	694.8	385.1	282.5	386.9	242.9	181.5	238.2
D	623.1	523.0	644.4	359.4	303.0	362.5	224.1	185.6	223.6

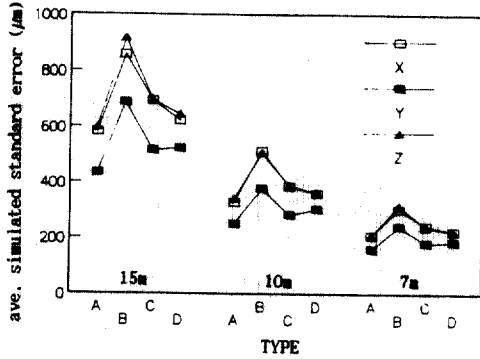


그림 4.1 Average simulated standard error for each type of control points

해석한 A type의 경우 X, Y, Z 공히 가장 낮은 오차 분포를 보이고 있어 X-Y-Z축 평면에 고루 기준점을 배치하는 것이 바람직 함을 알 수 있다. X-Y축 평면상에 배치된 기준점 만을 이용하여 해석한 B type은 X, Y, Z좌표의 표준오차가 공히 가장 높은 오차분포를 나타내고 있는것으로 보아 Z축 (촬영거리 방향)상의 기준점 배치가 정도에 미치는 영향이 가장 큼을 알 수 있다. Y-Z축 평면상에 배치된 기준점 만을 이용하여 해석한 C type과 X-Y축 평면상에 배치된 기준점 만을 이용하여 해석한 D type을 비교해 보면, C type의 경우에 비해 D type은 X와 Z좌표의 표준오차가 보다 낮은 분포를 보이고 있으며, Y좌표의 표준오차는 D type이 높은 분포를 보이고 있어 축상에 기준점의 존재 유무에 따라 오차가 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

본 실험에서 이용한 원통형 구조물에 대한 해석에서는 각 촬영거리 공히 Y좌표에 대한 표준오차가 X와 Z좌표 표준오차에 비해 낮게 나타나는데 이는 피사체와 기준점 배치에 따른 기하학적 요인

에 의한 것으로 사료된다.

4.1.2 계단형 배치

원통형 구조물 표면에 고르게 배치된 20점의 기준점을 동일 높이를 갖는 기준점 별로 구분 가장 낮은 I 단 부터 IV단까지 계단형으로 배치하여 위치오차를 산출하였으며, 동일 높이의 미지점을 a~f까지 6단계로 나누어 비교하였다.

그림 4.2는 촬영거리 7m, 10m, 15m에 대한 각 단 기준점 별 위치오차를 도시한 것으로 촬영거리 7m의 경우 I 단 기준점 배치에 비해 II, III, IV단 배치의 기하학적 위치오차는 각각 -0.8%, 12.5%, 82.6%의 증가율을 보였으며, 촬영거리 10m의 경우 -6.7%, 3.2%, 51.7%씩 각각 증가 했으며, 촬영거리 15m의 경우 1.8%, 15.7%, 74.6% 증가하였다. I 단 ~III단으로 각각 기준점 배치시 오차증가율은 매우 미소하나 IV단의 기준점 배치시에 급격한 오차 증가율을 보여 기준점 배치에 따른 오차의 영향을 알 수 있으며, 촬영거리 7m에서 최상단의 기준점 만을 이용한 경우와 촬영거리 10m에서 I 단~III 단 기준을 이용한 경우가 비슷한 오차분포를 보이고 있으

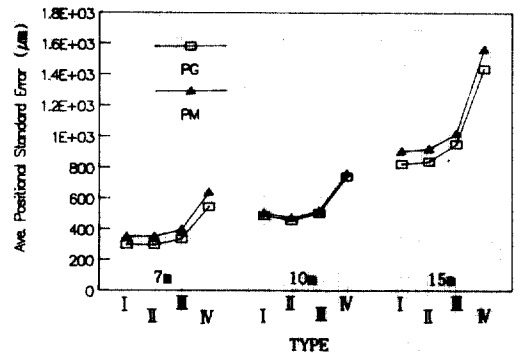


그림 4.2 Average positional standard error for each type of control points

표 4.2 Average standard error of unknown points type for control points type

(unit : μm)

step	I			II			III			IV		
	XM	YM	ZM	XM	YM	ZM	XM	YM	ZM	XM	YM	ZM
a	196.2	130.4	191.5	214.0	162.3	213.0	280.1	245.9	283.6	491.8	534.2	511.0
b	191.7	131.0	189.4	196.4	134.8	197.9	239.0	203.8	242.1	408.6	442.6	423.3
c	176.6	129.9	171.6	164.5	115.8	167.0	181.1	153.3	183.3	310.8	345.0	320.6
d	199.4	164.5	194.7	181.1	136.2	187.9	170.7	133.3	176.9	243.1	257.1	249.9
e	260.2	219.4	254.1	242.6	186.7	247.4	222.4	157.7	228.1	237.8	197.3	238.8
f	328.3	296.4	328.6	311.5	264.0	322.5	290.2	226.7	304.2	287.3	209.5	293.6

표 4.3 Average standard error for each step

(unit : μm)

step	20 full			3 full			3 one		
	XM	YM	ZM	XM	YM	ZM	XM	YM	ZM
①	177.1	127.4	179.8	222.1	169.4	236.1	194.2	141.1	195.1
②	215.6	130.0	155.6	240.3	160.9	198.9	357.0	169.9	237.9
③	188.9	132.9	193.2	225.9	175.5	250.1	613.6	229.2	279.5
④	146.6	129.0	209.4	191.1	175.2	254.2	673.5	263.3	436.1
⑤	209.0	137.8	203.3	247.4	202.7	253.5	651.7	293.8	640.7
⑥	245.4	143.7	167.1	293.2	209.9	235.6	433.1	261.9	690.8
⑦	192.4	131.1	191.3	231.3	182.8	243.3	255.2	211.3	597.8
⑧	158.5	139.6	231.4	199.8	174.4	270.5	217.8	173.5	371.6

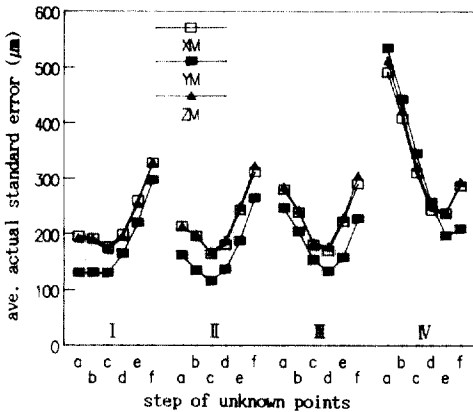


그림 4.3 Average actual standard error for each step of unknown points

며 촬영거리 15m의 I 단~III 단 배치시의 오차분포에 비해 촬영거리 10m의 IV 단 기준점으로 해석한 경우가 보다 낮은 오차분포를 보임으로써 기준점을

같은 높이로 배치한 경우 촬영거리가 오차에 영향이 큰 것을 알 수 있다.

표 4.2는 기준점의 배치가 미지점의 오차에 미치는 영향을 분석키 위해 I, II, III, IV 단의 기준점에 대해 미지점을 6개 단(a~f)으로 구분 해석한 결과로 이를 도시하면 그림 4.3과 같다. 최하단의 기준점 6개를 이용한 I 단의 경우 a~d 단의 미지점의 오차분포는 비교적 낮으나 기준점으로 부터 멀리 떨어진 e, f 단의 오차는 매우 높게 나타났다. II, III 단 역시 기준점 단으로 부터 가까운 위치의 미지점 단이 낮은 오차분포를 보이고 있다. 또한 I, II, III 단 기준점을 각각 이용하여 해석한 경우 대부분 300 μm 이내의 오차분포를 보이고 있으며, 이 경우 X, Z 좌표의 오차에 비해 Y 좌표의 오차가 낮은 분포를 보이고 있는 반면, IV 단 기준점을 이용하여 해석한 경우는 a~d 미지점 구간에서는 Y 오차가 상대적으로 크게 분포하고 있어 같은 높이로 배치 기준점으로 부터의 거리와 그 기준점 수가 오차에

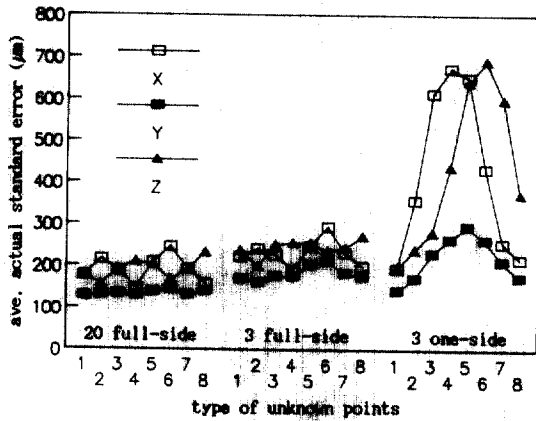


그림 44 Average actual standard error for each type of unknown points

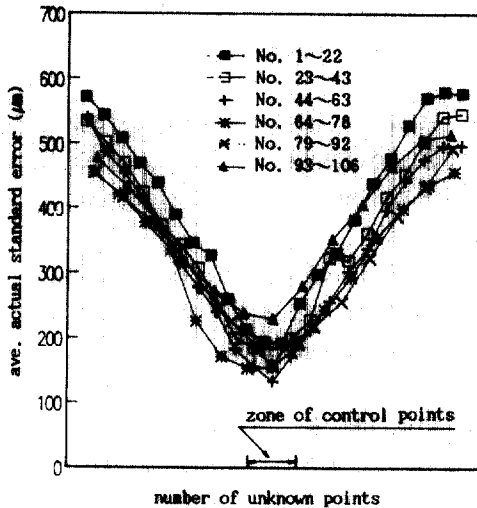


그림 45 Average actual standard error for number of unknown points

미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

42 기준점의 일면배치에 따른 오차 특성

원통형 구조물 해석에 있어서 기준점을 전면에 고무 배치한 경우와 어느 일면에 배치한 경우의 오차 분포를 분석하기 위해 원통형 구조물의 표면을 8개 구간으로 나누어 표준오차를 산출, 비교하였다.

표 4.3은 촬영거리 7m에서 얻은 36매의 사진으로 해석한 경우로서 피사체 표면의 전면에 균일하게 배치된 20점의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경

우(20 full-side)와 3점의 기준점만을 전면에 배치한 경우(3 full-side), 3점의 기준점을 일면에 배치한 경우(3 one-side)의 각 구간의 오차분포를 나타낸 것이다. 그림 4.4는 이를 각 구간별로 도시한 것이며, 3점의 기준점을 one-side로 배치한 경우의 미지점별 오차분포를 도시하면 그림 4.5와 같다. 각 경우 공히 Y좌표에 대한 표준오차가 X와 Z에 비해 가장 낮은 분포를 보이고 있다. 20점의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경우 약 150 μ m~240 μ m의 오차분포를 나타내고 있으며, 3점의 기준점을 전면에 균일하게 배치한 경우의 표준오차는 약 160 μ m~290 μ m의 분포를 보이고 있다. 특히 3점의 기준점을 어느 일면에만 배치하여 해석한 경우의 오차분포는 X가 약 190 μ m~670 μ m, Y가 140 μ m~290 μ m, Z가 190 μ m~690 μ m로 큰 폭의 오차분포를 나타내고 있다.

이를 106점의 미지점 각각의 X, Y, Z 평균오차로 도시하면 그림 4.6과 같다. 20점의 기준점으로 해석한 경우의 오차분포폭은 전반적으로 미소하게 나타나고 있으며, 전면의 3점의 기준점을 이용한 경우는 20점의 경우에 비해 약 30%의 오차증가율을 보인 반면, 일면의 3점 기준점으로 해석한 경우는 기준점으로 부터 미지점까지의 거리에 따라 상당한 오차증가율 및 분포폭을 보임으로써 기준점의 수에 의한 영향에 비해 기준점의 배치가 표준오차에 미치는 영향이 보다 큰 것을 알 수 있다.

43 촬영거리와 기준점 수에 따른 오차 특성

그림 4.7은 촬영거리 15m에서 얻은 12매의 사진을 1 strip으로 해석한 경우, 촬영거리 10m에서 얻은 24매의 사진을 2 strip으로 해석한 경우, 촬영거리 7m에서 얻은 36매의 사진을 3 strip으로 해석한 경우 기준점 수에 따른 3차원 위치오차의 양상을 도시한 것으로 피사체 표면에 고무 배치된 20점의 기준점으로 부터 최소 기준점 배치인 2X, 2Y, 3Z까지 한 방향으로 4점씩 기준점을 순차적으로 줄여가며 해석하였다.

촬영거리 15m의 경우 20점의 기준점에서 16, 12, 8, 4, 2X, 2Y, 3Z의 기준점으로 감소됨에 따라 기하학적 위치오차 PG는 7008.8 μ m, 723.2 μ m, 771.9 μ m, 903.0 μ m, 1235.1 μ m; 1596.5 μ m로 20점의 기준점에 비해 각각 3.2%, 10.1%, 28.9%, 76.2%, 127.8%의 증가율을 보여 8점 이하의 기준점수에서는 기준점수가 정도

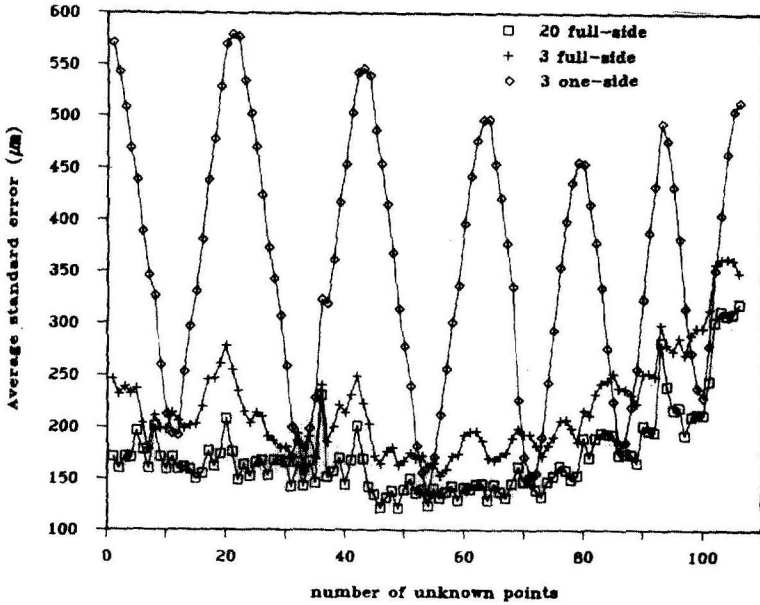


그림 4.6 Average actual standard error for number of unknown points

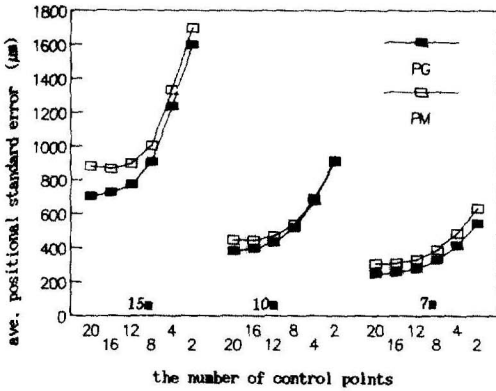


그림 4.7 Average positional standard error for the number of control points at each object distance

에 미치는 영향이 큰것으로 나타났으며, 20~12점의 기준점 수에서는 오차의 증가율이 비교적 낮아 기준점 수가 오차에 미치는 영향이 작은것으로 나타났다. 각 기준점 수에 따른 실험적 위치오차(PM)는 전반적으로 기하학적 위치오차(PG)와 비슷한 양상을 보이고 있으나 특히 20점의 기준점 보

다 16점의 기준점에서 위치오차가 1.9% 감소하여 가장낮은 오차분포를 보여 적당한 기준점 수의 배치가 결과의 정확도에 중요한 영향을 미침을 알 수 있다.

촬영거리 10m의 경우 20점의 기준점에서 2X, 2Y, 3Z 기준점으로 감소됨에 따라 기하학적 위치오차는 383.0 μ m, 397.1 μ m, 432.5 μ m, 517.4 μ m, 673.4 μ m, 905.4 μ m로 20점의 기준점에 비해 각각 3.4%, 12.9%, 35.1%, 75.8%, 136.4%로 증가율을 보여 촬영거리 15m의 경우와 유사한 양상을 보이고 있으며, 실험적 위치오차도 16점의 기준점수에서 가장 낮은 오차분포를 보여 일관성 있는 결과를 나타내고 있다.

촬영거리 7m의 경우 20점의 기준점을 모두 사용하여 해석한 경우의 기하학적 위치오차 248.3 μ m에 비해 16점, 12점, 8점, 4점, 2X, 2Y, 3Z의 기준점을 이용한 경우는 각각 257.3 μ m, 279.2 μ m, 328.7 μ m, 413.9 μ m, 541.5 μ m로 3.6%, 12.4%, 32.4%, 66.7%, 118.1%의 증가율을 보이고 있어 역시 8점 이하의 기준점 수에서는 급격한 오차증가율을 나타내고 있다. 실험적 위치오차는 기하학적 위치오차와 유사한 양상을 보이고 있다.

촬영거리별 위치오차분포를 보면, 20점의 기준점을 이용하여 해석한 경우 촬영거리 15m의 700.8 μ m

에 비해 10m에서 383.0 μ m, 7m에서 248.3 μ m로 각각 45.3%, 64.6% 오차감소를 보였으며, 2X, 2Y, 3Z의 기준점을 이용하여 해석한 경우 43.3%, 66.1%로 오차감소율이 나타나 같은 기준점 수를 이용하여 해석했을 때 거리 경중률이 오차에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 촬영거리 15m에서 20점의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경우에 비해 촬영거리 10m에서 4개의 기준점만을 이용하여 해석한 경우가 보다 낮은 오차분포를 보였으며, 촬영거리 10m에서 20점의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경우와 촬영거리 7m에서 4점의 기준점만을 이용하여 해석한 경우가 비슷한 오차분포를 나타내고 있다. 특히 촬영거리 7m에서 최소 기준점 배치인 2X, 2Y, 3Z 기준점만을 이용하여 해석한 경우가 촬영거리 15m에서 20점의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경우에 비해 보다 낮은 오차분포를 나타내고 있어 strip조합해석을 적용하여 적은 기준점 수로 가능한한 근접하여 촬영한다면 결과의 정확도에 양호한 결과를 얻을 수 있으며 strip의 bundle조정을 통하여 어느 일면에 배치된 기준점 만으로도 전면의 미지점을 해석할 수 있어 기준점 측량의 난제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

표 4.4는 촬영거리에 따른 비례정확도를 기준점

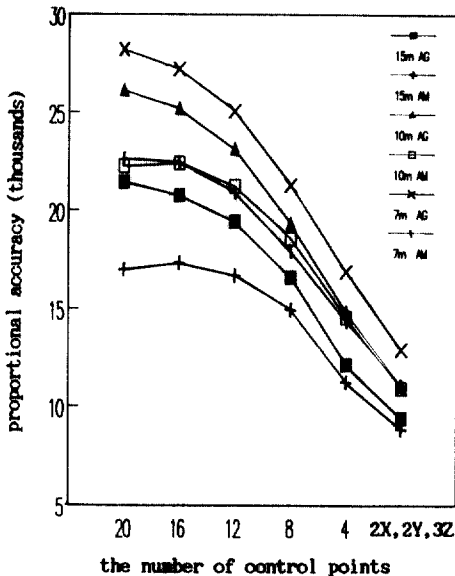


그림 4.8 Proportional accuracy for the number of control points

표 4.4 Proportional accuracy according to the of control points (object distance 15m, 10m, 7m)

the # of control points	distance(m)					
	15		10		7	
	PG	PM	PG	PM	PG	PM
20	21404	16999	26110	22237	28192	22610
16	20741	17327	25183	22386	27206	22414
12	19433	16694	23121	21231	25072	20939
8	16611	14952	19327	18584	21296	17958
4	12145	11246	14850	14573	16912	14371
2X, 2Y, 3Z	9396	8847	11045	10935	12927	11067

수에 따라 나타낸 것으로 이를 도시하면 그림 4.8과 같다.

5. 결 론

측정용 카메라를 이용하여 원통형 구조물의 정밀 측정을 실시하고 bundle 조정으로 원형 strip에 대한 촬영거리와 기준점 수, 기준점의 위치가 정확도에 미치는 영향을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 全面에 대한 기준점 측량의 난제를 해결하기 위해 각 촬영거리에서 전면의 기준점을 一面으로 순차적으로 줄여가며 해석한 결과, 적당 수의 기준점 배치는 정확도에 큰 영향을 미치나, 일면의 기준점 만으로도 전면에 대한 해석 가능성이 입증되었다.

2) 촬영거리 7m에서 전면의 20점 기준점으로 해석한 결과, X, Y, Z 좌표에 대한 실험적 표준오차가 130 μ m~240 μ m, 전면의 3점 기준점으로 해석한 결과 160 μ m~290 μ m, 일면의 3점 기준점으로 해석한 결과 140 μ m~670 μ m로 기준점 수에 비해 그 배치가 정도에 보다 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

3) 구조물의 전면해석시 기준점을 X, Y, Z축 평면상에 고루 배치하는 것이 이상적이며, 특히 Z축상에 배치된 기준점이 결과의 정확도에 보다 큰 영향을 미친다.

4) 정확도 향상을 위해 가능한 근접 촬영하여 얻은 strip을 조합해석 한다면 적은 기준점으로도 양호한 정도의 결과를 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 아산 사회복지 사업재단의 1988년도 연구비 지원에 의해 이루어진 것으로 아산재단의 후원에 깊이 감사 드리는 바이다.

참고 문헌

1. 姜準默, “構造物 變形解析을 爲한 收斂多重 寫眞測量의 技法開發” 大韓土木學會 論文集, 7卷 1號 pp.131-139, 1987.
2. 姜準默, “多重 近距離 寫眞測定에 依한 被寫體의 3次元 精密位置 解析에 關한 研究”, 博士學位論文(延世大), 1985.
3. Abdel M. M. Rahim, “A Technique for the Detection and Compensation of Systematic Height Errors in Block Aerial Triangulation”, Photogrammetric Record, pp. 529-546, 1982.
4. After A. Elassal, “Generalized Adjustment by Least squares(GALS)”, PE & RS, Vol. 49, No. 2, pp. 201-206, 1983.
5. A. S. P., “Manual of Photogrammetry”, 4th Ed. 1980.
6. Erlandson, J. P. and Veress, S. A., “Methodology and Standards for Structural Survey”, ASP & RS, pp. 575-596, 1975.
7. Gosh, S. K., “Analytical Photogrammetry”, 2nd edition, Pergamon Press, 1988.
8. Hadem I., “Bundle Adjustment in Industrial Photogrammetry”, I. S. P., Commision V, pp. 262-267, 1980.
9. Hakim S. F., “The Detection of Gross and Systematic errors in the Combined Adjustment of Terrestrial and Photogrammetric Data”, PE & RS, Vol. 52, No. 1, pp. 59-77, 1986.
10. Hanspeter Bopp and Herber Krauss, “Photogrammetric Control Survey of a Large Cooling Tower”, ASP, Proceeding, pp. 433-439, Oct. 1977
11. Jeyapalan K., Marlee Marse Walton, “The Feasibility Terrestrial Photogrammetry in the Long Term Structural Movement of a Bridge”, ASPRS-ACSM, Technical papers, Vol. 2, pp. 46-80, 1987
12. John N. Hatzopolous, “An Analytical System for Close-Range” Photogrammetry”, PE & RS, Vol. 55, No. 10, pp. 1583-1588, 1985.
13. Paul R. Wolf, “Elements of Photogrammetry”, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, pp. 576-614, 1983
14. Raymond J. Hintz, Kang Joon-Mook, Oh Won-Jin, “A Study on the Improvement of Accuracy for Deformation Measurement of circular Structures by Multiple Method”, Journal of the Korean Society of Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Vol. 6, No. 1, pp. 13-24, 1988.
15. Stepan Zinndorf, “Optimization of Imaging Configuration”, ASPRS-ACSM, vol. 7, pp. 1-9, 1987.
16. Veress, S. A., Jackson N. C., “Analysis of Monitoring the CABION Wall by Inclinator and Photogrammetry”, PE, pp. 216-236, 1979
17. Youssef I. Abdel-Aziz, “Accuracy of the Normal Case of Close-Range Photogrammetry”, PE & RS, Vol. 48, No. 2, pp. 207-213, 1982.

(接受 : 1990. 10. 10)