

번들블럭조정에 있어서 과대오차 탐색 및 제거에 관한 연구 A STUDY ON THE GROSS ERROR DETECTION AND ELIMINATION IN BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

柳 福 模* 曹 基 成**
YEU Bock Mo CHO Gi Sung
辛 成 雄***
SHIN Sung Woong

要 旨

본 연구에서는 사진측량에서의 관측값을 대상으로 과대오차 검출을 용이하게 할 수 있도록 잔차들의 상관관계를 고려하고 최신 분산값(updated reference variance)을 채택하여 기각역을 설정함으로써 여러개의 과대오차를 검출할 수 있고 이들 과대오차를 소거한 후 자체검정 번들 조정법에 정오차 보정을 위한 부가매개변수를 도입하여 3차원 위치결정 정확도를 향상시키고자 하였다.

본 연구에서는 근거리 사진측량의 3차원 위치결정에 있어서 관측값에 대해 순차적 data-snooping 방법을 적용하여 과대오차를 제거하고 종래의 번들조정법들과 정확도를 비교분석한 결과, 과대오차를 제거한 이후에 정오차를 보정하는 것이 바람직함을 알 수 있었으며, 관측값에 두개 이상의 과대오차가 포함되면 최소제곱법의 masking효과에 의해 과대오차가 잔차의 상관성이 가장 큰 점의 검정통계량에 영향을 주기 때문에 상관성이 가장 큰 점을 먼저 탐색하고, 제거한 후 실제 과대오차를 제거하여야 함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, the accuracy of three dimensional location was improved by self calibration bundle method with additional parameter, which is to correct systematic error through detection and elimination of the gross error from updated reference variance for observation values in photogrammetry.

In this study, with the result of comparing accuracy of each method, correcting systematic error is more effective after gross error detection and when observation values are contained more than two gross error the point with maximum correlation value is detected by masking effect of least square adjustment.

1. 서 론

측량학의 제반과정 중 정확성은 무엇보다 중요한 사항이므로 오차를 최소화하기 위한 오차 조정 및 이에 관련한 수치해석방법의 연구가 중요과제이다.

사진 측량에서 관측값에 포함되는 오차는 과대오차(gross error), 정오차(systematic error) 및 우연오차(random error)로 분류하며, 사진 측량의 정확도는 이들 오차의 복합된 영향으로 나타난다.

사진측량분야에서는 정확한 조정값을 산출하기 위해, 정오차 모형식을 개발하여 사진측량의 수학적 모형에 포함시키고 있다. 그러나 관측값에 과대오차가 포함된 경우, 정확도가 떨어지고 신뢰할 수 없는 결과값을 얻게된다. 이

* 연세대학교 공과대학 교수

** 연세대학교 산업기술연구소 객원 연구원

*** 연세대학교 대학원 석사과정

는 사진측량에서 사용되는 최소제곱법이 과대 오차를 우연오차로 간주하여 다른 관측값에 균등하게 배분하는 성질을 갖고 있기 때문이다.

사진측량에서 과대오차는 자료획득시 기준점 좌표의 오기, 상좌표의 기입 오류, 기준좌표계와 다른 좌표계의 혼합 등으로 발생한다. 이들 과대오차를 탐색·제거하기 위해 종래에는 data-snooping법과 Danish method가 이용되어 왔으나, data-snooping법은 오직 한개의 과대오차만을 허용하고 관측값들간 snooping법 보다 다소 낮은 결과를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 번들블럭조정에서의 과대오차를 제거하기 위한 조정기법으로써 기존의 data-snooping법을 수정·해석하여 과대오차와 상관성이 큰 잔차를 갖는 여러개의 오류 관측값을 탐색·제거하는 순차적 data-snooping법을 이용하여 보다 효과적인 관측값 조정기법을 확립 하고자 하였다.

2. 과대오차 탐색 및 제거를 위한 블럭 조정의 이론

과대오차(gross error)의 개념은 정규분포의 가정과 최소제곱법에 밀접한 관계가 있다. 과대오차는 관측자의 부주의에 의한 관측에서 과오, 소수점 및 관측점 번호의 잘못, 기록에서의 오류 등에 의해 발생한다.

사진측량에서는 과대오차를 다음의 4가지로 구분하고 있다. 첫째, 좌우사진의 상좌표를 바꿔 기록하는 경우, 둘째, 기준점좌표 오차, 셋째, 근접한 점들을 잘못 입력한 경우, 넷째, 정오차와 구별이 잘 안될 정도로 오차가 작은 관측상의 오차이다. Forstner(1982)는 이들 과대오차를 크기에 따라 작은 과대오차(4σ - 20σ), 중간크기의 과대오차(20σ -기선장), 큰 과대오차(기선장보다 큰 경우)로 나누고 있으며, Klein은 작은 과대오차(4σ - 50σ), 중간크기의 과대오차(50σ -기선장의 2배 또는 3배), 큰 과대오차(기선장의 3배보다 큰 경우)로 구분하고 있다. Klein과 Forstner(1984)는 중간크기의 과대오차보다 큰 경우, 틀린 결과값을 얻을 수 있으며, 큰 크기의 과대오차보다 작은 경우는

해의 수렴에는 크게 영향을 주지 않는다고 하였다.

(1) 최소제곱법에 의한 과대오차탐색

사진측량에서 과대오차를 탐색하기 위해서는 최소제곱법을 수행한 후에 잔차의 수용여부를 추정하는 것이 바람직하다. 또한 오차의 보정에서 과대오차의 탐색과 제거의 문제점을 고려하면 다른 원인들의 오차들은 조정결과값에 영향을 거의 미치지 못한다.

1) Data-snooping방법

이 방법은 실제오차에 대한 임의의 분포가정으로 부터 유도된다. 관측값의 실제오차 e 가 미지값이기 때문에, 조정에서 잔차 V 와 미지변수 X 가 오차의 기대값으로 사용된다. 그러므로, 관측값은 다음과 같은 귀무가설(null hypothesis)하에서 잔차에 대하여 통계적으로 조정된다.

$$H_0^v : \sigma^2 = \sigma_0^2 \quad (1)$$

식 (1)의 귀무가설 H_0 는 식 (2)와 같은 통계적인 값이 유의수준 a 와 r, ∞ 의 자유도를 갖는 $F(1-a, r, \infty)$ 의 한계값보다 작을 때 수용한다.

$$F_{stat} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (2)$$

경중률행렬 W 가 주 대각요소를 가지고 있다면 실험값 W_i 는 다음과 같다.

$$W_i = \frac{|V_i|}{\sigma_0 (q_{v_i v_i})^{1/2}} = \frac{|V_i|}{\sigma_{v_i}} \quad (3)$$

여기서,

$q_{v_i v_i}$: 잔차의 여인수행렬의 i 번째 주대각요소

W_i 의 채택구간은 다음과 같다.

$$W_i < F(1-a, r, \infty)^{1/2} \quad (4)$$

여기서, a 는 1종오류의 유의수준이며, 전체유의수준 a' 와 다음과 같은 상관성이 있다.

$$1 - a' = (1 - a)^n \quad (5)$$

여기서, n : 관측회수

앞에서 언급한 바와 같이 관측값의 분산-공분산행렬은 미지이며, 결과적으로 σ_{v_i} 도 미지이다.

이와 같은 경우에, 잔차의 사후분산 σ_{v_1} 를 사용하면,

$$t_1 = \frac{|V_1|}{\sigma_{v_1}} \quad (6)$$

이 된다.

(2) 순차적 과대오차 탐색·제거이론

자료군에 한개 이상의 과대오차가 존재한다면 모든 과대오차를 제거하기 위해 여러차례의 자료처리과정을 반복하여야 하는데 이 방법은 비경제적이다. 이 방법에서는 해가 조정의 마지막 단계에서 제시된 경로로부터 직접적으로 다음 실행의 결과를 산출한다.

오류가 있는 관측값과 관련있는 자료만이 이전의 조정결과값과 더불어 계산에 이용된다. 순차적 data-snooping기법에는 studentize화된 잔차가 요구되며, 잔차사이의 연속적인 상관관계가 필요하다.

n 관측의 전체벡터와 u 미지변수를 두 부분으로 나누어서 가정하면,

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} X_1 - \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

L_2 는 과대오차를 포함하고 있다고 생각되는 관측값이며, 잉여관측($n-b$)는 L_1 으로 표시한다.

계산된 잔차와 식 (7)의 분할에 해당하는 잔차의 여인수행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V &= \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \\ &= -Q_{vv} \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,

$$\begin{aligned} Q_{vv} &= \begin{bmatrix} Q_{v_1v_1} & Q_{v_1v_2} \\ Q_{v_2v_1} & Q_{v_2v_2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} W_1^{-1} - A_1 N^{-1} A_1^T - A_1 N^{-1} A_2^T \\ -A_2 N^{-1} A_1^T W_2^{-1} A_2 N^{-1} A_2^T \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

이다.

과대오차를 가진 관측값을 제거하고 미지변수에 대한 새로운 관측값은 다음과 같은 식으

로 계산된다.

$$X' = \hat{X} + \hat{N}^{-1} A_2^T (Q_{v_2v_2})^{-1} V_2 \quad (10)$$

$$N'^{-1} = N^{-1} + N^{-1} A_2^T (Q_{v_2v_2})^{-1} A_2 N^{-1} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} V_1'^2 &= V_1 - N^{-1} \\ &+ N^{-1} A_2^T (Q_{v_2v_2})^{-1} A_2 N^{-1} \end{aligned} \quad (12)$$

또는

$$V_1' = A_1 X' - L_1 \quad (13)$$

$$Q_{v_1v_1} = Q_{v_1v_1} - Q_{v_1v_2} (Q_{v_2v_2})^{-1} Q_{v_2v_1} \quad (14)$$

보정된 관측값으로부터 경중률을 가진 잔차의 제곱합은 다음과 같이 얻어진다.

$$\Phi' = V_1'^T W_1 V_1' \quad (15)$$

Φ' 에 대한 연속식은 본래 Φ 의 2차식으로부터 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\Phi' = \Phi - V_2^T (Q_{v_2v_2})^{-1} V_2 \quad (16)$$

여기서, $\Phi = V^T W V$ 자료군으로부터 제거하려고 하는 한개의 상점에 대해 가정하면, 다음과 같이 된다.

$$\Phi' = \Phi - \begin{bmatrix} V_x & V_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q^{xx}_{vv} & Q^{xy}_{vv} \\ Q^{yx}_{vv} & Q^{yy}_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \quad (17)$$

오류가 있는 상점을 제거한 후의 새로운 기준분산은

$$\hat{\sigma}_o'^2 = \frac{\Phi'}{r-2} \quad (18)$$

여기서, r 은 자유도이다.

상점과 X축과 Y축의 상관관계는 매우 작다고 가정하면 식 (18)로부터 다음과 같은 축약식을 유도할 수 있다.

$$\Phi' = \Phi - \left[\frac{V_x^2}{Q_{vv}^x} + \frac{V_y^2}{Q_{vv}^y} \right] \quad (19)$$

또는,

$$\Phi' = \hat{\sigma}_o'^2 (r - W_x^2 - W_y^2) \quad (20)$$

여기서, W_x 와 W_y 는 원래 최소제곱조정에서 얻어진 studentized 잔차이다.

3. 관측 및 결과분석

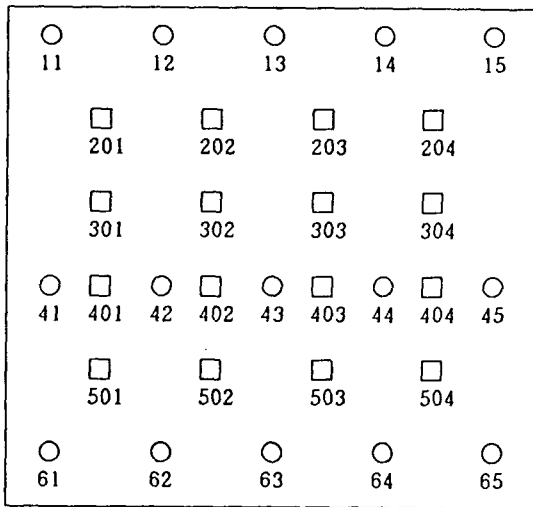
(1) 관측

본 연구에서는 지상측량용 광각사진기(Wild P31)를 이용하여 촬영을 하였으며, Wild P31의 초점거리는 101.75mm이고 필름의 크기는 83mm×117mm이다.

지상기준점의 3차원좌표는 1"독 Theodolite

(Wild T2)를 사용하여 삼각수준측량에 의해 관측하였으며, 번들조정에 이용되는 상좌표 관측에는 Mono-comparator(Kern MK-2)를 이용하였다.

본 연구의 대상물은 260cm×120cm의 크기의 대상물을 이용하였으며, 대상물 상에 그림 3.1과 같이 기준점과 검사점으로 이용될 31점을 배치하여 사진촬영 및 기준점 측량을 수행하였다.



○ 기준점 □ 검사점
그림 3.1 대상점 배치 형태

(2) 관측값 해석

사진측량은 기하학적 원리에 의해 3차원 위치가 결정되므로, 조정에 이용되는 기준점 배치에 따라 정확도에 큰 영향을 주며, 기존의 연구에 의하면 평면 기준점을 외곽에 균등 배치하고 높이 기준점을 스트립 방향과 직각으로 배치하는 것이 좋은 정확도를 나타내는 기준점 형태로 판명되었다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 배치형태를 바탕으로하여, 과대오차가 포함된 관측값을 부가매개변수를 고려하지 않은 번들조정법, 부가매개변수를 고려한 자체검정 번들조정법 및 순차적 data-snooping법을 적용후 부가매개변수를 고려한 자체검정 번들조정법의 조정 결과값에 대한 정확도 및 정밀도를 분석하였다.

표 3.1 case의 구성

case 1	부가매개변수를 고려하지 않은 번들조정
case 2	부가매개변수를 고려한 번들조정
case 3	순차적 data-snooping법을 적용후 부가매개변수를 고려한 자체검정 번들조정

표 3.2 상좌표에 4σ의 과대오차가 1개 발생하였을 때 잔차의 검정 통계량 및 과대오차 포함유무 * 과대오차포함

PT#	PH#	과대오차 제거전		#43 제거후	
		Wx	Wy	Wx	Wy
11	1	1.08	0.34	1.71	0.05
11	2	0.97	0.67	1.12	0.36
12	1	0.00	1.23	0.25	0.75
12	2	0.02	1.75	0.41	2.59
13	1	0.16	0.31	0.73	0.12
13	2	2.10	0.46	2.93	0.16
14	1	0.29	0.36	0.05	0.42
14	2	1.80	1.20	3.08	2.91
15	1	0.06	0.13	0.16	0.67
15	2	0.44	1.13	0.97	2.44
41	1	0.83	0.32	0.18	0.75
41	2	0.36	2.50	0.16	3.17
42	1	0.37	0.23	1.10	0.34
42	2	0.55	1.17	2.08	0.81
43	1	0.06	2.97	—	—
43	2	0.38	4.58*	—	—
44	1	0.93	0.20	0.94	1.13
44	2	0.97	3.14	0.24	2.85
45	1	0.66	1.24	0.93	0.93
45	2	0.58	0.75	0.20	2.72
61	1	0.46	2.06	0.59	1.86
61	2	0.02	0.15	2.08	2.14
62	1	0.84	0.25	1.09	1.02
62	2	0.74	0.17	1.02	2.54
63	1	0.53	0.06	1.98	0.20
63	2	1.35	0.47	3.27	0.76
64	1	0.38	0.20	0.08	0.87
64	2	1.34	0.00	2.13	2.77
65	1	0.01	0.03	0.48	0.61
65	2	0.17	0.55	1.72	3.10

(3) 과대오차 탐색 및 제거

사진측량에서는 과대오차를 크기에 따라 작은 과대오차($4\sigma-20\sigma$), 중간크기의 과대오차(20σ -기선장), 큰 과대오차(기선장 보다 큰 경우)로 나누고 있다. 본 연구에서는 이 중 탐색하기가 가장 어려운 작은 크기의 과대오차의

범위값 중 4σ 에 해당하는 과대오차를 1개, 2개로 구분하여 상좌표상에 발생시켜 조정 결과값의 검정 통계량을 표 3.4와 같이 분석하였고 과대오차 포함 유무는 α 의 유의수준이 0.01, β 의 유의수준이 0.20일때 Stefanovic이 제안한 검정 통계량 기각범위 $W_i > 3.29\sigma_0$ 에 근거하여 결정 하였다.

표 3.3 상좌표에 4σ 의 과대오차가 2개 발생하였을 때 조정결과값의 검정 통계량 및 과대오차 포함 유무
* 과대오차포함

PT#	PH#	과대오차 제거전		#43 제거후		#43+#45 제거후		#43+#45 + #15 제거후	
		Wx	Wy	Wx	Wy	Wx	Wy	Wx	Wy
11	1	0.31	0.57	1.29	0.11	1.77	0.27	1.32	0.10
11	2	0.75	0.44	0.31	1.25	0.18	0.07	1.38	0.80
12	1	0.46	0.32	0.13	0.33	0.17	0.37	0.57	0.67
12	2	0.60	2.08	0.42	1.80	1.87	2.10	0.71	2.81
13	1	0.25	0.83	0.17	0.31	0.31	0.32	0.85	0.26
13	2	2.76	0.47	2.66	0.74	2.25	0.06	0.83	0.44
14	1	1.61	0.39	1.71	0.93	2.73	1.18	1.57	0.18
14	2	1.51	1.58	0.07	1.02	1.19	2.29	0.77	1.01
15	1	5.43*	0.71	4.28*	0.61	5.16*	0.76	—	—
15	2	2.36	0.37	2.81	3.30	1.04	4.35*	—	—
41	1	1.09	0.72	0.49	0.79	0.64	0.93	1.11	0.61
41	2	0.18	0.57	0.14	1.87	0.16	2.85	0.13	2.52
42	1	0.38	0.59	0.86	0.02	1.29	0.05	2.24	0.31
42	2	0.81	1.06	1.38	0.49	1.61	0.56	1.08	0.46
43	1	1.14	0.74	—	—	—	—	—	—
43	2	0.20	4.06*	—	—	—	—	—	—
44	1	0.72	0.05	0.14	0.44	0.21	0.42	1.69	0.83
44	2	0.18	0.08	1.36	0.81	0.18	0.37	0.22	3.05
45	1	3.06	0.18	2.29	0.93	—	—	—	—
45	2	5.18*	0.73	8.42*	6.68*	—	—	—	—
61	1	2.98	0.87	0.11	0.95	0.07	1.04	2.28	1.69
61	2	0.40	0.58	2.35	1.47	2.01	0.30	0.55	1.07
62	1	1.13	0.53	1.06	0.76	1.60	1.10	1.81	1.01
62	2	0.22	0.55	0.15	0.99	0.45	1.75	0.38	1.88
63	1	0.13	0.04	0.20	0.11	0.21	0.29	3.18	0.01
63	2	0.45	0.07	1.15	0.14	1.73	0.36	0.24	0.10
64	1	1.60	0.36	0.63	0.22	0.50	0.03	0.06	0.51
64	2	2.28	0.16	0.90	0.55	1.41	1.73	0.66	1.49
65	1	1.72	0.21	0.12	1.17	1.21	2.15	0.27	1.23
65	2	1.53	0.64	2.16	1.69	1.32	1.87	1.14	0.52

2번 사진 43번 점에 과대오차가 1개만 포함되어 있을 경우에는 조정값의 검정 통계량이 3.29보다 큰 1점만을 정확하게 탐색하며, 과대 오차가 2개가 포함된 경우에는 최소제곱조정의 masking 효과에 의해 2번 사진의 43번점이 실제 과대오차가 포함된 1번 사진 15번 점과 2번 사진 45번 점과 상관관계가 크기 때문에 ($P > 0.9$) 먼저 탐색·제거됨을 알 수 있고 다음에 검정통계량이 3.29보다 큰 범위에서 순서적으로 제거됨을 알 수 있다.

(4) 조정 방법에 따른 조정값의 정밀도 및 정확도 분석

본 연구에서는 과대오차가 조정값에 미치는 영향을 분석하기 위해 번들조정법의 조정결과값의 공분산 행렬로부터 구한 모든 관측점의 정밀도와 검사점의 잔차로부터 구한 정확도를 앞절 표 3.1에 나타낸 바와 같이 case별로 구분하여 표 3.4~표 3.7에 나타내었다.

관측값에 과대오차가 1개 포함되어 있을 때 관측점의 정밀도는 case 2의 경우가 case 1에 비해 46% 정도 정밀도가 떨어짐을 알 수 있었으며, 잉여관측수가 1개 감소한 case 3의 경우

표 3.4 조정방법에 따른 조정값의 정밀도(과대오차 1개인 경우) (단위 : M)

	case 1	case 2	case 3
σ_x	0.000208	0.000235	0.000152
σ_y	0.000151	0.000235	0.000201
σ_{xy}	0.000180	0.000235	0.000176
σ_z	0.000899	0.001313	0.000825

표 3.5 조정방법에 따른 조정값의 정확도(과대오차 1개인 경우) (단위 : M)

	case 1	case 2	case 3
μ_x	0.000216	0.000382	0.000188
μ_y	0.000245	0.000421	0.000224
μ_{xy}	0.000231	0.000402	0.000206
μ_z	0.000779	0.000793	0.000715

가 case 1에 비해 정밀도가 8% 정도 향상되었다. 관측값에 과대오차가 2개 포함되어 있을 때의 정밀도는 case 2의 경우가 case 1에 비하여 7% 정도 정밀도가 감소되었고 case 3의 경우가 다소 향상된 정밀도를 얻을 수 있었다.

이것은 과대오차가 포함된 관측값이 제거된 후의 정밀도가 신뢰할 수 있는 값을 나타낸다.

과대오차가 1개 포함된 경우 수평위치오차의 정확도는 case 2가 case 1에 비해 74%정도가 떨어졌고 case 3의 경우는 case 1과 비교하여 11%정도 향상된 정확도를 얻을 수 있었다. 또한, 높이위치 오차의 정확도는 case 2의 경우가 case 1에 비해 2% 정도의 정확도가 감소되었으며, case 3의 경우는 9%의 향상된 값을 얻을 수 있었다.

(5) 비교고찰

본 연구에서는 과대오차를 탐색·제거하기

표 3.6 조정방법에 따른 조정값의 정밀도(과대오차 2개인 경우) (단위 : M)

	case 1	case 2	case 3		
			#43 제거	#43+#45 제거	#43+#45+#15 제거
σ_x	0.000258	0.000292	0.000268	0.000203	0.000171
σ_y	0.000187	0.000289	0.000350	0.000294	0.000265
σ_{xy}	0.000223	0.000290	0.000309	0.000248	0.000218
σ_z	0.001519	0.001632	0.001993	0.001671	0.001498

표 3.7 조정방법에 따른 조정값의 정확도(과대오차 2개인 경우) (단위 : M)

	case 1	case 2	case 3		
			#43 제거	#43+#45 제거	#43+#45+#15 제거
μ_x	0.000302	0.000631	0.000310	0.000242	0.000222
μ_y	0.000275	0.000371	0.000265	0.000352	0.000271
μ_{xy}	0.000289	0.000518	0.000289	0.000302	0.000246
μ_z	0.000880	0.001370	0.000875	0.001340	0.000782

표 8 과대오차 탐색의 갯수와 성공률

과대오차 포함갯수	과대오차 발생위치		순차적 Data-snooping PH / PT	3 σ 배제법칙 PH/PT	순차적 Data-snooping 법의 탐색률	3 σ 배제법칙의 탐색률
	PH#	PT#				
1	2	43	2/43	NO	100%	0%
2	1	15	2/43	2/45	67%	50%
	2	45	2/45 1/15			

위한 알고리즘으로써 순차적 data-snooping법의 효용성을 알아보기 위하여 상좌표에 과대오차를 1개, 2개로 구분하여 발생시켜 과대오차 탐색갯수와 성공률을 3 σ 배제법칙과 비교하여 표 3.8과 같이 비교분석 하였다.

표 3.8에서 보는바와 같이 3 σ 배제법칙은 과대오차가 1개만 포함되어 있을 때 과대오차를 탐색하지는 못하지만, 본 연구에서 제시한 순차적 data-snooping법은 정확히 1점을 탐색해 낸다. 또한 과대오차를 2개 발생시켰을 때는 순차적 data-snooping법이 잔차의 증상관계수 $P > 0.90$ 이상인 값을 가진 2번사진 43번 점을 포함하여 3개의 과대오차를 탐색하지만 3 σ 법칙은 1개의 과대오차만을 탐색한다. 이것은 3 σ 법칙이 결중률을 고려하지 않고 단위정중률하에서 사진좌표의 잔차값만을 가지고 과대오차를 탐색하기 때문이다. 또한 본 연구에서 과대오차를 1개, 또는 2개로 국한시킨 것은 실제 관측값상에 과대오차의 포함갯수가 서로 다른 좌표계를 사용하는 경우를 제외하고는 1점 또는 2점에만 발생하기 때문이다.

4. 結論

본 연구에서는 근거리 사진측량의 3차원 위치결정에 있어서 관측값에 대해 순차적 data-snooping법을 적용하여 과대오차를 제거하고 종래의 번들조정법들과 정확도를 비교분석한 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 정오차 보정을 위한 부가매개변수의

도입은 관측값에 과대오차가 포함되어 있으면 정확도 향상에 도움을 주지 못하므로 과대오차를 제거한 이후에 정오차를 보정하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

둘째, 관측값에 두개 이상의 과대오차가 포함되면 최소제곱법의 masking효과에 의해 과대오차가 잔차의 상관성이 가장 큰 점의 검정 통계량에 영향을 주기 때문에 상관성이 가장 큰 점을 먼저 탐색하고, 제거한 후 실제 과대오차를 제거하여야 함을 알 수 있다.

셋째, 본 연구에서 적용된 순차적 data-snooping법은 기존의 과대오차조정방법에 비해 최신 분산값으로 기각역을 설정하고, 반복조정을 수행함으로써 관측값의 직결조정에 대한 효용성을 증대시킬 수 있었다.

참고 문헌

1. Ayeni, O.O "Phototriangulation : A Review and Bibliography", P.E. & R.S., Vol. 48, No. 11, 1982, pp. 1733-1759.
2. Shortis, M.R., "Sequential Adjustments of Close Range Stereopairs", International Archives of Photogrammetry, Vol. 24, 1982, pp. 461-470.
3. Hatzopoulos, J.N., "The Combination of Aerial Terrestrial Photogrammetry in Structural Monitoring", Ph.D. Dissertation, University of Washington, 1979.
4. Kubik, K., "Data Processing in Aerial Triangulation", Ph.D. Dissertation, University of Washington, 1979.
5. Rosenfield, G.H., "Automatic Data Verification", P.E., Vol. 34, 1986, pp. 1260-1268.
6. Barnett, V., and Lewis, T., "Outliers in Statistical Data", John Wiley, 1978, pp. 1-51~pp. 234-268.
7. Beckman, R.J., and Cook, R.D., "Outlier.....s", Technometrics, Vol. 25, No. 2, 1983, pp. 119-163.
8. Cook, R.D., and Weisberg, S., "Residual and Influence in Regression", Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman & Hall, 1982, pp. 10-36.

9. Chrzanowski, A., and Chen, Y.Q., "Report of the ADHOC Committee on the Analysis of Deformation Surveys", Comm. 6, XVIII Congress of FIG, 1986, pp. 608.
10. 유복모, "공중삼각측량에 있어서 독립모델의 연구", 대한 토목학회 창립 20주년 기념 논문집, 1972, pp. 222-229.
11. 유복모, 강준목, 박홍기, "문화재 측정에 있어서 close-Range Photogrammetry의 효용성에 관한 연구", 82 국내외 한국 과학 기술자 하계 심포지움 발표문집(토목분야), 1982, pp. 6/1-11.
12. 유복모, 강준목, 박홍기, "지상사진에 의한 구조물 측정에 관한 연구", 82 국내외 한국 과학 기술자 학술회의 논문집, 1982, pp. 100-103.
13. 유복모, 강준목, 박홍기, "지상사진에 의한 구조물의 정밀측정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 1 권, 제 1 호, 1983, pp. 9-16.
14. 박홍기, "사진측량 관측값의 과대오차 조정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1987.
15. 유환희, "근거리 사진측량에 의한 변형해석에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1988.
16. 손덕재, "지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1990.