

GCP 배치에 따른 Block 조정의 오차 전파 특성

The Characteristics of Various Deviation by Block Adjustment According to GCP Arrangement

강준목 * · 엄대용** · 강영미*** · 전경민****

Kang, Joon Mook · Um, Dae Yong · Kang, Young Mi · Jeon, Kyong Min

要 旨

사진측량에 있어 정확도는 기하학적 원리에 의해 결정된 대상점의 좌표를 이용하여 분석하므로 대상점 좌표의 정확도에 따라 신뢰성이 좌우되고 이를 위해 지상측량이 필수적이거나 이에 소요되는 비용과 시간이 지도제작 비용의 30~50%를 차지하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 항공삼각측량에 의한 중형접합모형 구조를 이용하여 기준점의 수와 배치형태에 따른 정확도를 분석하고자 총 11가지 모형에 대해 광속조정에 의한 측정정확도를 분석하여 최적의 항공삼각측량 모형을 제시하고 이를 이용하여 정사투영영상 및 수치도화 성과를 획득하여 현지기준점 성과와 중첩 정확도를 비교 분석하였다. 연구결과 X축, Y축, Z축에서 각각 0.8113m, 0.8750m, 0.9945m의 평균제곱근오차를 얻었으므로 1/25,000수치지도의 제작 가능성을 입증할 수 있었으며 이로부터 블록조정에 있어 최소 기준점 배치인 CASE 7에 의해서 미지점의 정확한 해석이 가능함을 알 수 있었고 기존의 기준점 측량 선점 단계에서 기준점의 배치형태와 수의 최적조건을 제시하여 여기에 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In photogrammetry, the accuracy is analyzed by using the coordinate of the targeted position determined by the geometric principle, thus, the reliability depends on the accuracy of the coordinate of the targeted position. Thereby, geographic surveying is essential to perform such tasks, and it requires approximately 30~50% of total cost and times to produce a finalized map. The main purpose of this study is to determine the configuration of the disposition of minimum datum points and their configuration, which were determined by surveying values available through using the structure of block model based on the aerotriangulation. ortho projection image was produce and digital topographic map was achieved by the optima model(CASE7). We also performed comparative analysis about the result of local datum point and the accuracy of overlapping based on the surveying results. Consequently, it is possible to analyze the unknown position accurately with the optimal model. , CASE 7, which is the minimum datum points configuration required to block adjustment. Furthermore, this optimal model, which provides the minimum datum points, results costs and time saving effects compared to the previous methodology.

* 충남대학교 토목공학과 교수
** 충남대학교 토목공학과 대학원 박사수료
*** 충남대학교 토목공학과 대학원 박사과정
**** 육군지도창 연구원

1. 서론

항공사진측량 방법으로 국가 기본도나 각종 주제도를 제작 및 갱신, DEM추출, 정사투영영상 및 정사사진지도 제작, 모자이크 영상제작, 3차원 모델링 등 2차 영상해석 및 처리에 의한 다양한 결과물을 제작하기 위해서는 각 사진 또는 모델에 대한 정확한 지상기준점이 필요하다. 우리나라에서는 70년대 이후부터 항공삼각측량 프로그램을 사용하면서 지상측량에 소요되는 시간과 비용을 획기적으로 절약할 수 있게 되었다. 그러나 항공삼각측량 프로그램의 사용에도 불구하고 지형도 제작을 위한 항공삼각측량에 필요한 지상측량작업에 소요되는 비용은 전체 지도 제작비용의 30~50%를 차지하고 있다. 대규모 지역에서의 항공사진 측량의 정확도 향상을 위해 가장 좋은 기준점의 배치형태와 수의 최적조건을 결정한다면 지도제작에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 위치결정에 우수하고 경제적인 방법으로 사용되고 있는 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 현지에서 가능한 많은 지상기준점을 관측하고 산출한 성과를 이용하여 기준점의 수 및 배치(분포)에 따른 광속 조정결과의 정확도를 비교 분석하여 항공삼각측량 최소 기준점 배치형태 및 수의 최적조건 결정에 대한 방안을 제시하고자 하였다.

이를 위해 수치사진측량시스템에 의하여 사진상의 무수한 점들의 좌표를 측정된 다음 소수의 지상 기준점 측량성과를 이용하여 점들의 좌표를 여러 방법에 의해 실험 대조함으로써 정확도 분석과 최적의 기준점 결정을 실시하고자 1:37,500 항공사진에서 전라남.북도 지역 일대를 대상지역으로 선정하였다. 갈라 및 흑백 스캐닝이 가능한 포토스캐너를 이용하여 고해상도 수치영상을 획득하였다. 각 사진 및 모델에 필요한 지상기준점은 자연점을 선정하여 Static GPS 측량을 실시하였다. 수치사진측량시스템인 이미지스테이션을 이용하여 프로젝트 관련정보 및 매개변수, 카메라검정자료(Calibration Data), 사진 및 모델의 구성, 지상기준점등을 입력하고 자동내부표정, 외부

표정(상호표정, 접합표정, 절대표정)등의 일련의 처리 과정을 수행하였으며 관측된 지상기준점 성과의 수 및 배치를 변화시켜 사진상의 점들의 좌표를 측지좌표로 환산하여 정확도를 분석하였다. 이러한 연구를 통해 획득한 성과를 이용하여 DEM을 생성하고 이를 이용하여 정사사진을 제작하고 수치도화 성과와 비교하여 결과물에 대한 검증은 실시하였다.

이로서 많은 인력과 예산 및 시간이 소요되는 지상기준점 측량을 선점 단계에서 효과적이고 가장 적절한 계획을 수립 경제적인 지도 제작 방안을 제시하고자 하였다.

2. 관측 및 자료처리

2.1 연구대상지 선정

항공사진측량에 필요한 최적의 지상기준점 수 및 배치형태를 도출하기 위해 행정구역상 전라남.북 지역 일대를 대상지로 선정하였다. 이 지역은 도시나 산악지역이 적절히 배치된 지역으로 국립지리원 국토기본도는 1/50,000 전주, 진안, 안성장, 무풍장, 갈담리, 임실, 함양, 거창 도엽에 해당하고 항공사진에 촬영된 지역의 면적은 약 88km×96km이다.

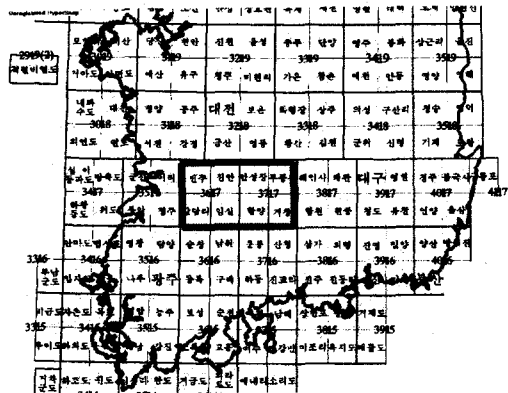


그림 1 연구대상지

2.2 수치영상획득 및 기준점측량

2.2.1 수치영상 획득

연구에 사용된 항공사진은 2000년 촬영된 필름을 밀착 인화하여 투명양화로 제작되었으며 이를 항공

표 1 항공사진 촬영재원

촬영용 항공기	기종	CESSNA TU-206G
	비행속도	220km/Hr
	비행고도	520m
카메라	종류	RC20 15/4
	축점거리	153.574mm
블럭	면적	4,687km ²
	사진축척	1:37,500
	중복도	P=60%, Q=30%
Photo/Strips	Photo/Strips	225/9
	비행방향	동-서

사진 전용 자동독취기로 수치화함으로써 실험에 사용될 수치영상을 제작하였다. 촬영축척 1:37,500 항공사진 147매로 항공사진 촬영 목적은 1:25,000 수치지도 제작용이다. 항공사진 자동독취는 Intergraph社의 photoscan PSI를 이용하여 해상도 15 μ m(약1700dpi)로 스캐닝 하였으며 이는 지도제작 및 2차제품 생성을 목적으로 하는 경우 안정적인 정확도를 나타내는 것으로 알려져 있다. 항공사진의 자동독취에 대한 최적 해상도를 결정하기 위해 사용주체와 사용목적, 촬영년도와 사진축척에 따른 해상도, 수치화 하고자 하는 항공사진의 질에 따른 최적해상도를 고려하였다.

2.2.2 GPS에 의한 GCP(지상 기준점)측량

항공사진 영상을 이용한 수치지도 및 2차 생성품 제작을 위해 정확하고 정밀한 지상기준점 획득이 선행되어야 한다. 지상기준점 측량은 항공사진측량에 필요한 수평위치 및 표고 기준점(표정점)의 좌표를 얻기 위한 것으로 GPS측량으로 실시하였다.

모든 지상기준점은 가급적 인접모델에서 상호 사용할 수 있도록 하고 사진상에서 명확히 식별될 수 있는 지점으로 건물모퉁이, 도로 차선, 논밭의 경계선 등과 같은 자연점을 선정하였다. GPS수신기는 Trimble社의 4000SSE 이주파 수신기를 이용하였고 성과에 대한 기준점으로는 육군지도청 내의 GPS상시관측소 자료를 사용하였다. 각각의 기준점 관측 저장간격은 15초이고 60분 관측의 스테틱 방식을 이용하였다. 관측 자료의 처리는 GPSurvey 소프트웨어를 이용하여 GCP에 대한 WGS84좌표계 상의 3차원 좌

표를 산출하였다. X, Y, Z의 평면기준점 20점과 수준점 114점을 선정 측량하였으며 관측된 점들의 좌표의 배치는 그림 3과 같다.

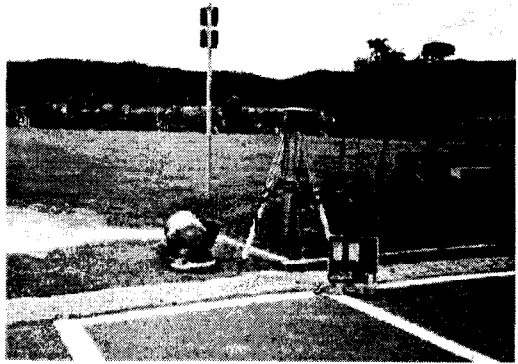


그림 2 기준점측량광경 (GPS)

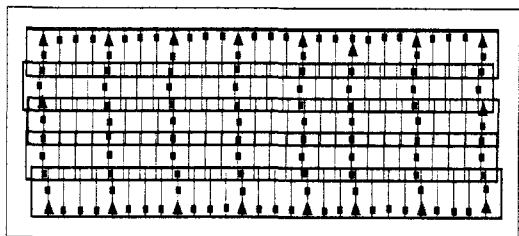


그림 3 기준점배치양상

2.3 수치사진측량 처리과정

본 연구의 수행을 위한 시스템으로는 Intergraph社의 하드웨어와 소프트웨어를 사용하였다. 하드웨어로는 사진의 해석에 있어서 수치영상처리가 가능한 이미지스테이션과 PSI Photo Scanner, Window NT WorkStation등을 사용하였다. 소프트웨어로는 IA(Image Analyst), ISPM(Image Station Photogrammetric Manager), ISDM(Image Station Digital Mensuration), ISSD(Image Station Stereo Display), ISDC(Image Station DTM Collection), ISFC(Image Station Feature Collection), ISAT(Image Station MATCH-AT), ISBR(Image Station Base Rectifier)등을 본 연구에 활용하였다.

2.3.1 프로젝트 설정

수치사진측량시스템은 프로젝트 생성 모듈인 ISPM (ImageStation Photogrammetric Manager)을 이용하여 사진측량의 수행에 필요한 각종 프로젝트 정보 및 매개변수들을 입력하였다. 주요내용은 표 2와 같다.

2.3.2 사진 및 모델 구성

사진구성 작업과정은 수치화된 항공사진을 수치 사진측량 소프트웨어와 연결시켜 주는 단계로서 Strip ID, Photo ID, Camera Name, Camera Orientation, View Geometry등을 입력한다. 사진구성의 자료는 표 3과 같다.

2.3.3 지상기준점 입력

절대표정을 위해 필수적인 지상기준점을 수치사 사진측량 소프트웨어에 입력하므로써 실제 지상점과

표 3 사진구성

내 용	설 정 값	
	Strip ID	Photo ID
Active Photo	5	1~31
	6	1~28
	7	1~30
	8	1~29
	9	1~29
Camera Name	WILD RC20	
Model Setup Direction	비행기의 촬영방향	
Camera Orientation	주 사 방 향	
Exterior Orientation Information	View Geometry	Vertical
	Linear Unit	M
	Angular Unit	Deg

표 2 프로젝트 설정

내 용	설정값	기본값		
거 리 단 위	m	m		
좌 표 체 계	지상좌표 (XYZ)	지상좌표 (XYZ)		
각 단 위	(°)	(°)		
Std.Dev. Of Measurement	15 μm	5 μm		
지 구 반 경	6378000	6378000		
비 행 고 도	5760	5760		
수렴오차 한계	최대반복횟수	10	10	
	비행위치(X,Y,Z)	0.001	0.001	
	비행자세(x, φ, ω)	0.0001 (°)	0.0001 (°)	
내부표정 한계	최대표준편차(μm)	15	10	
	최대잔차(μm)	15	10	
상호표정 한계	최대표준편차(μm)	15	10	
	최대Y시차(μm)	15	10	
절대표정 /광속조정 한계	최대표준편차(μm)	0.001	0.001	
	최대표준 편차	X	0.001	0.001
		Y	0.001	0.001
		Z	0.001	0.001
	최대표준 편차	X	0.001	0.001
		Y	0.001	0.001
Z		0.001	0.001	

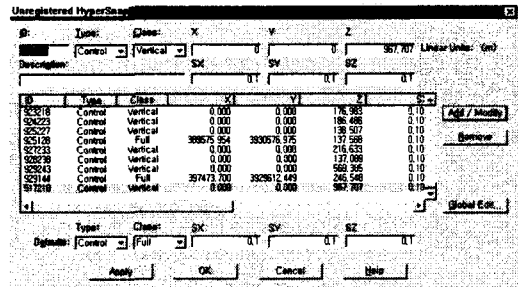


그림 4 지상기준점 입력 패널

항공사진영상의 동일점을 연결시켜 주는 작업이다. 지상좌표를 지상기준점으로 사용할 것인지 검사점으로 사용할 것인지 선택 후 3차원 좌표인지, 삼각점인지, 수준점인지 선택 후 입력하였다.

2.3.4 자동내부표정

사진의 주점을 광학중심(투영중심)에 일치시키는 과정으로 ImageStation Z의 ISDM 모듈에서 사진의 네 모서리 및 네 변의 중심부에 위치한 총 8개의 지표 중 모서리 부분의 4점을 이용하여 내부표정을 수행하는 것이 일반적이다.

본 연구에서도 네 모서리 점의 영상좌표만을 관측하여 내부표정을 실시하였고 내부표정 수행 시에 첫 사진의 지표 위치는 두 점을 관측한 후부터는 어느

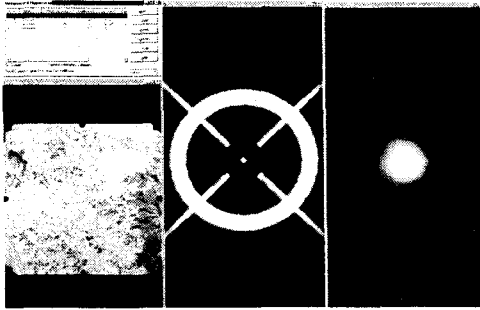


그림 5 내부표정작업(지표관측)

표 4 내부표정정확도

(단위 : μm)

Strips/photo	영상 해상도(15 μm)		
	MAX	MIN	평균
5 / 31	14.9	6.5	9.6
6 / 28	14.3	5.3	9.1
7 / 30	14.8	2.8	7.5
8 / 29	13.3	4.5	8.6
9 / 29	14.2	6.9	10.2

정도 프로그램에 의해 예측이 되었으며 첫 사진에 대한 지표관측 결과를 기준으로 하여 다음 사진부터는 자동적으로 지표의 위치를 관측할 수 있었다. 양화필름의 신축으로 인한 좌표의 오차는 4개의 지표에 동일하게 분배하였고 전체 147모델들에서 내부표정에 대한 X, Y 좌표의 정확도는 3.1~14.5 μm 이었으며 대부분의 모델에서 10 μm 이하의 결과를 획득하였으며 15 μm 이상일 경우 수동으로 재관측 하여 기준값의 정확도를 유지하였다. 종시차의 크기는 영상소 크기의 1/2에서 허용이 된다는 사실을 감안하면 모든 영상소 크기에서 기준 정확도를 만족함을 알 수 있었다.

2.3.5 외부표정

상호표정은 공역점에 대한 위치가 프로젝트 설정시에 사용자가 입력한 점합점의 배치형태를 기초로 프로그램에 의해 예측되며, 관측점수가 증가할수록 공역점 위치의 예측 정밀도가 높아진다. 본 연구에서는 모델당 6점의 Von Grüber점을 공역점으로 설정하여 상호표정 요소를 설정하였다. 가능한 한 한

사진에 대해서 왜곡이 적은 중심지역에서 고루 분포하게 하여 표정점을 설정하였다. 연결점(Pass Point)은 연속 2모델이 사진상에서 명확한 실체시가 가능하고 인접모델간의 중복부분 중간에 위치하게 하였고 모델중간의 연결점은 주점부근으로 모델양단의 주점기선에 직각방향으로 주점부터 항공사진상의 거리 7cm이상으로 등거리로 선점하였다. 연결점이 결합점(Tie Point)으로 사용할 수 없는 경우 코스상호간의 연결이 견고히 되도록 선점하고 가급적 인접코스간의 중복부분 중간에 위치하여야 하며 관계되는 항공사진 전체에서 선명한 점으로 선점하였다.

상호표정에 대한 평균표준오차는(RMSE:Root Mean Square Error)는 3.8~10.5 μm 내에서 약간의 변동이 있었다. 그러나 공허 설정 한계치 이하의 정확도로 표정이 이루어졌다.

절대표정작업도 표정에 대한 위치가 프로젝트 설정시에 사전에 입력한 기준점을 기초로 프로그램에 의해 예측되어 제시되었으며 관측점 수가 증가할수록 표정점 위치 예측의 정밀도가 높아졌다.

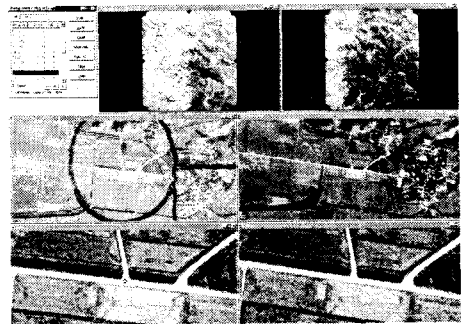


그림 6 상호표정 작업 페널

표 5 상호표정정확도

(단위 : μm)

Strips/photo	영상 해상도(15 μm)		
	MAX	MIN	평균
5 / 31	2.6	0.7	2.1
6 / 28	2.4	0.8	1.7
7 / 30	2.0	0.7	1.8
8 / 29	2.7	0.9	2.0
9 / 29	3.8	0.7	2.2

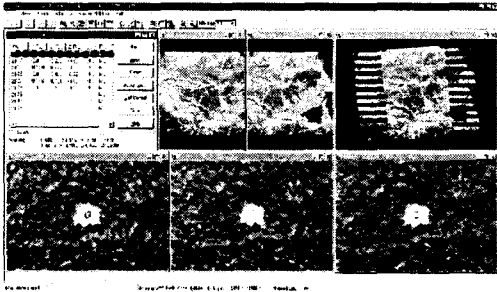


그림 7 절대표정 작업 패널

2.3.6 광속조정

광속조정법은 기준점 배치 방법에 따른 정확도를 점검하기 위해 다양한 방법으로 수행하였다. 사진상에 골고루 분포된 134개의 특징점을 선정하여 검증에 이용하였고 전체블록에 대해서 평면 기준점 20점과 높이 기준점 114점을 이용하여 광속조정이 이루어졌다. 기준점 배치 방법에 따른 정확도를 점검하기 위해서 그림과 같이 11가지 방법으로 광속조정법을 수행하였다.

방법1은 사진좌표를 관측할 때 발생한 우연 오차를 제거하기 위해서 모델조정법으로 조정된 좌표와 새로 측량한 지상기준점을 모두 지상기준점으로 사용하여 광속조정법을 수행하였다.

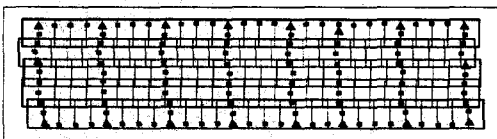


그림 8 기준점배치 (CASE1)

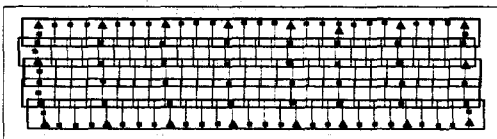


그림 9 기준점배치 (CASE2)

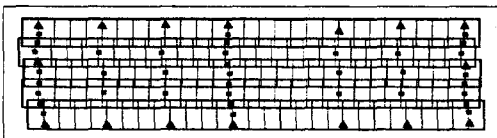


그림 10 기준점배치 (CASE3)

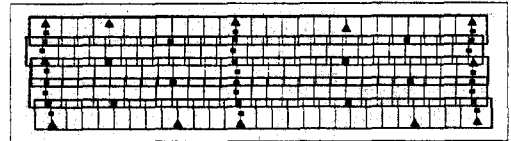


그림 11 기준점배치 (CASE4)

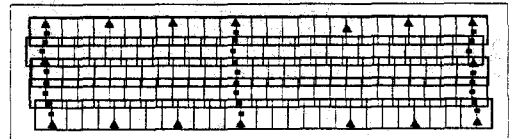


그림 12 기준점배치 (CASE5)

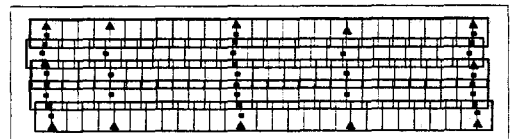


그림 13 기준점배치 (CASE6)

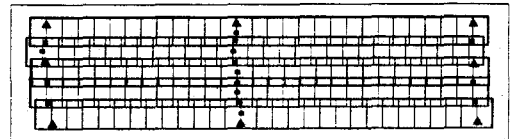


그림 14 기준점배치 (CASE7)

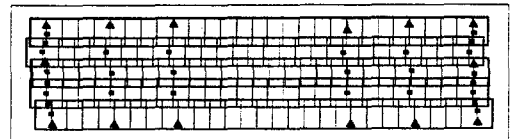


그림 15 기준점배치 (CASE8)

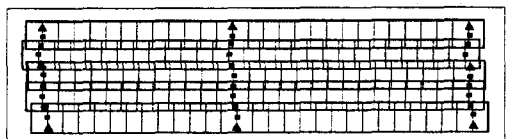


그림 16 기준점배치 (CASE9)

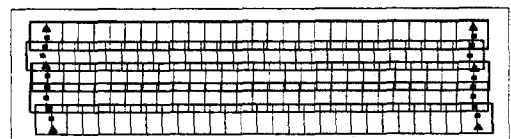


그림 17 기준점배치 (CASE10)

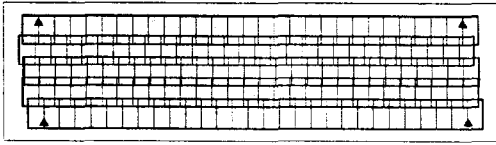


그림 18 기준점배치 (CASE11)

방법 2~11번까지의 방법은 인접사진 2매의 투영 중심 사이의 거리, 즉, 기선거리에 비례하도록 기준점 간격을 넓히면서 기준점 배치에 따른 정확도를 비교하였는데 자세한 기준점 배치 방법은 그림 9~그림 18과 같다.

광속조정법의 종료 조건은 반복계산 회수, 표준편차의 변화율, 최대 보정량을 동시에 사용하였고, 정확한 조정결과를 얻기 위해 최대 보정량이 1mm보다 작을 경우 종료하도록 반복계산 횟수 및 표준편차의 변화율 조건을 조정하였다.

2.4 수치정사영상 생성

수치표고모델(DEM)은 정사영상 제작을 위한 중요한 기초 자료이며 품질은 대상 점 또는 선형요소의 기하학적 정확도에 의존하게 된다. 이 연구에서는 수치영상 상관기법에 의해 수치표고모델을 제작하였고 추출점의 격자간격은 5m 간격으로 위치시켰다.

그리고 제작한 수치표고모델과 입체시가 이루어진 영상을 이용하여 영상 재배열과 수치미분편위수정을 실시하여 수치정사영상을 제작할 수 있었으며, 수치정사영상의 크기는 항공사진의 스케닝 해상도와 동일한 화소로 설정하여 영상의 질적 수준하락을 방지하도록 하였다.

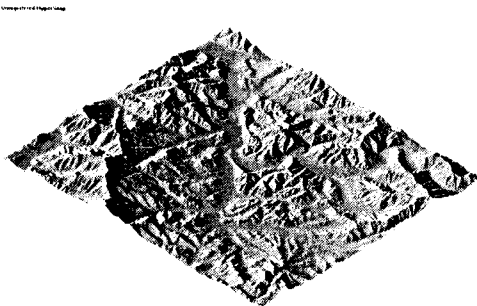


그림 19 수치표고모델

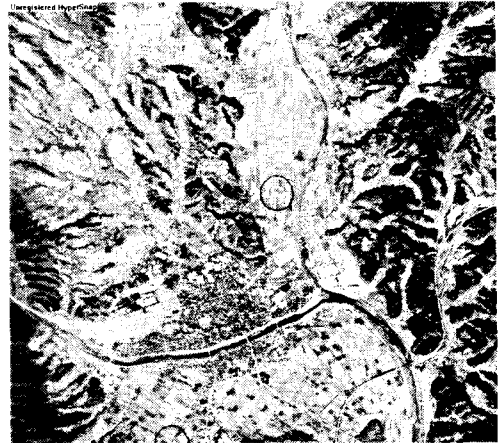


그림 20 정사영상생성

2.5 수치도화

수행된 표정결과에 의해 입체모델을 구성하고 이를 이용하여 대상지역에 대한 수치도화를 실시하였다. 본 연구에서의 도화축척은 항공사진의 축척을 감안하여 1/37,500으로 설정하였다. 수치사진측량에서의 도화작업은 입체항공사진 위에서 수행되므로 도화작업시의 오류나 누락 등에 의한 문제를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 수치도면을 직접 생성 할 수 있다.



그림 21 수치도화성과

또한 기존의 해석도화기에서의 작업과 유사하게 작업자가 입체시 상태에서 육안으로 대상물의 경계선을 추적하여 도화하는 방식과 프로그램에 의해 공액점을 자동으로 추출하여 도면을 제작하는 방법이 적용될 수 있다. 전자의 경우는 일반적인 선형에 대해 주로 적용이 되었으며, 후자의 자동화된 방법의 경우는 등고선 추출에 이용하였다. 그림 21은 수치도화 작업에 의해 획득한 대상지역의 도화성과를 나타낸 것이다.

3. 결과의 비교/분석

3.1 지상기준점을 이용한 광속조정 결과

항공삼각측량에 있어 최적의 지상기준점의 수와 배치양상에 따른 정확도 분석을 위해 본 연구에서는 이들을 다양한 방법으로 설정하고 각각에 대해 중첩접합모형조정법 중 광속조정법을 적용하여 분석을 실시하였다. 본 연구를 위한 데이터의 설정은 총 11가지의 방법으로 설정하였으며 경우별 기준점의 배치형태와 수는 표 6과 같으며 이들을 각각 그림 8~그림 18에 표시하였다.

표 6 경우별 기준점 배치

방법	배치 형태		기준점 수	
	XYZ(▲)	Z(■)	XYZ(▲)	Z(■)
CASE1	4모델당 1	5모델당 3	20	109
CASE2	4모델당 1	5모델당 2	20	81
CASE3	4모델당 1	5모델당 1	16	39
CASE4	6모델당 1	6모델당 1 (스트립간 중복)	12	35
CASE5	6모델당 1	6모델당 1	12	33
CASE6	5모델당 1	15모델당 1	16	27
CASE7	5모델당 1	5모델당 1	14	28
CASE8	15모델당 1	15모델당 2	8	27
CASE9	15모델당 1	15모델당 1	8	17
CASE10	블록의 코너 코스플 중간	코스의 끝	6	16
CASE11	블록의 코너		4	0

표 7 광속조정 결과

(단위 : m)

	X	Y	Z	3P
case 1	0.2763	0.35271	0.52953	0.693648366
case 2	0.2752	0.35201	0.53988	0.700797042
case 3	0.29043	0.38141	0.672	0.825473908
case 4	0.32068	0.40272	0.67823	0.851478123
case 5	0.31342	0.40056	0.74653	0.903320237
case 6	0.29283	0.38244	0.77616	0.913473649
case 7	0.32579	0.40939	0.81298	0.966786314
case 8	0.42628	0.49502	1.10761	1.285907987
case 9	0.4261	0.49455	1.1533	1.325232735
case 10	0.78809	0.80122	2.50564	2.746137496
case 11	1.05935	1.06955	4.40824	4.658190585

$$\pm 3P = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

여기서 CASE3은 현재 항공사진측량 작업규정(건설교통부 제정)에 의해 설정한 경우이며 이를 기준으로 CASE1과 CASE2는 정확도분석을 위한 초기치의 획득을 위해 보다 많은 수의 수평위치 기준점과 수직위치 기준점을 배치하였으며 CASE4에서 부터 CASE11까지는 일정한 규칙에 의거하여 이들의 수를 점차 감소시켰으며 이때 수평위치기준점 및 수직위치 기준점의 감소비율을 동일하도록 설정하였고 배치형태도 경우별로 달리하였다. 각 경우별로 설정된 모형에 대해 광속조정법을 이용하여 중첩접합모형에 대한 조정을 실시한 결과 표 7과 같은 결과를 획득할 수 있었다.

이들 자료처리 결과는 TEXT파일의 형태로 저장되고 여기에는 지상기준점간의 매칭 정밀도, 입력된 지상기준점에 대한 정밀도 및 최대편차로 구성되며 3차원 좌표 X, Y, Z에 대한 표준오차는 스트립 또는 블록내에 포함된 미지점의 총수에 대한 평균표준오차(RMSE)로 분석하여 정리하였다. 조정 결과, 각 축에 따라 일정한 비율에 의한 정확도 감소양상을 보이지 않았으나 3차원 위치오차의 산출결과 각 경우는 일정한 정확도 감소양상을 보이고 있었다.

3.2 정확도 분석 및 최소기준점 선정

조정 결과에 대한 정확도 분석은 경우별로 설정된 수평 및 수직위치 기준점의 수와 배치에 따라 각 축의 정확도는 상이한 결과를 나타내므로 본 연구에서 설정한 경우에 국한하여 비교분석 하였다. 그림 22는 광속조정의 결과 중 각 경우별 X축에 대한 위치오차를 평균제곱근 오차로 나타내어 도시한 것으로 CASE3을 기준으로 기준점의 수를 감소시킨 CASE4 이상의 경우에서 정확도의 감소양상을 확인할 수 있으나 CASE7까지는 비교적 그 편차가 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 CASE3 보다 기준점의 수를 증가시킨 CASE1과 CASE2의 경우 CASE3과 비교하여 2cm정도의 범위내에서 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 항공삼각측량 작업규정에서 제시하고 있는 기준점의 수와 배치양상보다 더 많은 기준점을 배치하여도 정확도의 향상 정도는 큰 차이를 보이지 않음을 의미한다. 그리고 CASE4와 CASE5의 경우는 CASE6과 CASE7에 비해 저하된 정확도를 보이고 있는데 이는 전체적인 기준점 배치를 고려하기 위해 수평위치기준점의 감소비율을 높인데 그 원인을 찾을 수 있다. X축의 정확도 분석 결과 CASE7 이상의 경우에서 급격한 정확도 저하양상을 보임을 확인할 수 있었다.

Y축의 정확도 분석에서도 X축의 정확도 분석결과와 유사한 양상을 보이고 있음을 그림 23에서 확인할 수 있다. 이는 기준점 자료의 획득시 측정 정밀도가 X축과 동일하도록 설정되기 때문인 것으로 사료되며 Y축 조정 결과치가 X축 보다 정확도 저하현상을 보이는 것은 블록 전체에 균일한 기준점의 배치를 위해 접합점의 유무와 그 수에 따라 약간의 저하현상을 보이는 것으로 생각된다. Y축 조정결과에서도 역시 CASE7 이상의 경우에서 급격한 정확도 저하양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

Z축의 경우 통상 항공사진측량의 정확도에서 X축과 Y축에 비해 정확도 저하가 발생하는데 본 연구의 조정결과에서도 역시 정확도 저하 현상을 확인할 수 있었다. 이는 수직위치기준점의 수에 따라 그 정도는 달라지게 되는데 CASE1과 CASE2의 경우 수직위치 기준점의 수가 CASE3이상의 경우에 비해 상당히 많은 양이 배치되었으므로 정확도 향상정도가 크게 나

타나고 있으며 설정한 경우에서 수직위치 기준점의 수가 감소함에 따라 정확도가 일정한 양상을 띄며 저하되고 있음을 알 수 있다. 이 역시 CASE7의 이상의 경우에서 급격히 정확도 저하가 발생하고 있으며 CASE8의 경우는 CASE7과 수직위치 기준점은 동일하나 수평위치기준점의 감소에 따라 상호 편차가 크게 발생한 것으로 생각된다.

각 축별 조정정확도 분석 결과 공히 CASE7을 중심으로 정확도의 저하정도가 크게 나타나고 있다. 이

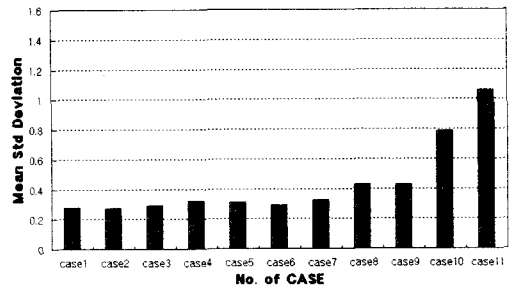


그림 22 위치정확도 분석 (X-Axis)

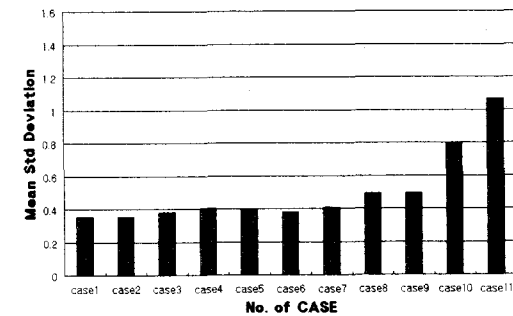


그림 23 위치정확도 분석 (Y-Axis)

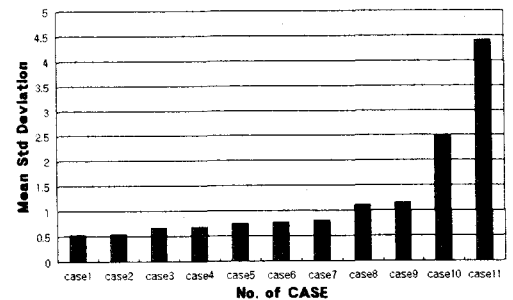


그림 24 위치정확도 분석 (Z-Axis)

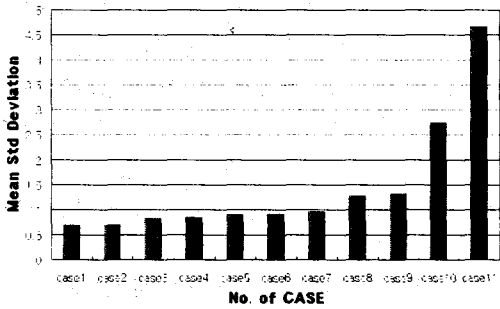


그림 25 3차원 위치정확도 분석

들 각축의 결과를 종합하여 그림 25와 같이 3차원 위치오차로 산출하여 도시한 결과에서도 이와 비슷한 양상을 보이고 있다. 그러므로 본 연구에서 기준점의 배치와 수를 달리하여 설정한 경우에 국한하여 비교·분석한 결과 CASE7의 기준점 배치형태와 기준점 수를 최적의 방법으로 결론 지을 수 있었다. 따라서 적당한 수의 기준점을 효율적으로 배치하는 것은 중요하나 그 이상의 기준점을 설정하게 되면 정확도 향상에 큰 영향이 없고 오히려 정확도에 불리한 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료된다. 또한 수십매의 사진에 의해 형성된 횡스트립의 조합, 즉 블록 조정에 있어 최소 기준점 배치인 CASE7의 경우로도 정확한 해석이 가능함을 알 수 있다. 따라서 대규모 지역에서의 항공사진측량시 신속 경제적인 측면에서 문제시되는 기준점 측량의 난제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

3.3 수치도화 및 중첩 정확도 검증

본 연구에서 결정한 CASE7의 경우의 배치상태를 이용하여 대상지역중 한 도엽(1/25,000)의 지역을 샘플링하였고 수치사진측량 방법을 이용하여 도화한 수치도화자료의 정확도를 평가하기 위해서 현지 지상기준점 측량이 이루어진 특징점 6점을 도출하여 좌표를 획득하고 이를 비교 분석하였다. 비교분석 항목은 GPS로 관측한 특징점의 대상 요소값을 기준으로 하여 수치도화에서 관측한 동일 지점에 대한 좌표 상호간의 편차를 구하였다. 현지 기준점 측량 방법과 수치사진측량을 이용한 수치도화의 비교에서 X

축, Y축 및 Z축의 평균편차는 각각 0.8113m, 0.8750m, 0.9945m로 나타났다. 이들 결과는 통상 도화작업규정에서 제시하고 있는 수평위치 허용정도 0.2m와 수직위치 허용정도 3m의 범위내에서 작업이 가능했음을 나타내고 있으므로 CASE7의 방법에 의한 수치도화 작업성과는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

표 8 검사점의 좌표비교

(단위 : m)

항목	XYZ	지상기준점	수치도화	편차
1	X	400187.364	400187.540	0.176
	Y	3948478.934	3948479.260	0.326
2	X	401014.211	401015.022	0.811
	Y	3948346.006	3948345.729	0.277
3	Z	157.487	157.0	0.487
4	X	356342.658	356341.969	0.689
	Y	3937319.909	3937320.993	1.084
	Z	184.789	183.9	0.889
5	Z	426.898	427.6	0.702
6	X	377080.129	377078.560	1.569
	Y	3930656.737	3930662.550	1.813
	Z	423.978	422.078	1.9

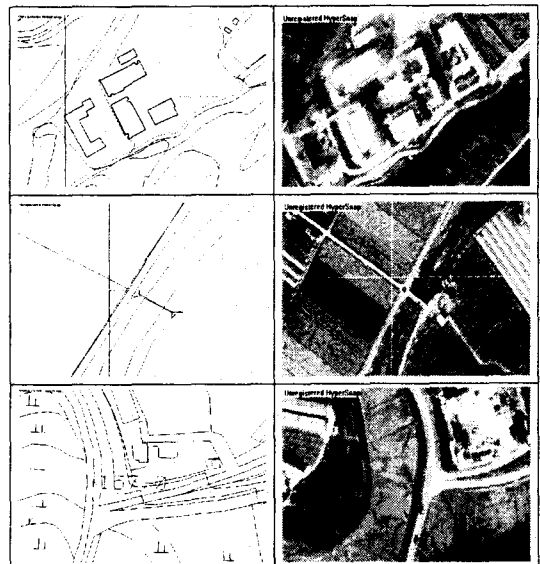


그림 26 수치도화정확도 분석샘플



그림 27 중첩정확도 분석

표 8은 검사점에 대한 좌표비교 결과치를 나타낸 것이며 그림 26은 각 검사점에 대한 수치도화성과와 지상기준점과의 편차를 시각적으로 표현한 것이다.

그림 27은 CASE7의 방법에 의해 정사영상을 제작하고 수치도화 성과와 중첩하여 나타낸 것으로 도로의 코너와 건물의 모서리의 위치를 선택하여 부합정도를 측정한 결과 건물정보에서 2.7m, 도로정보에서는 2.1m의 평면위치차를 나타내었다. 이는 DEM생성시 격자간격을 5m로 설정하여 작업을 수행하므로써 발생한 오차로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 항공삼각측량에 있어 현지측량시 소요되는 지상기준점 획득의 효율성을 향상시키기 위해 기준점 수와 배치형태를 11가지의 모형으로 설정하고 광속조정법에 의해 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 지상 기준점의 수에 따른 경우별 정확도 분석을 수행한 결과 CASE7의 경우를 최적의 모형으로 제시할 수 있었다. 이는 항공삼각측량 작업규정에서 제시하고 있는 표준모형에 비해 X, Y방향으로 약 13%, Z방향으로 약 28% 정도 기준점을 감소시킬 수 있었다.
2. 지상 기준점의 배치 형태에 대한 분석결과 중첩접합시 중복지역내에 기준점의 유무와 배치에 따라 큰 차이를 보이고 있었으며 중복지역내에 기준점의 배

치시 기준점 수의 감소에도 불구하고 정확도의 저하에는 큰 영향을 미치지 않았다.

3. 검사점을 수치도화 자료 위에 중첩시켜 정확도를 분석한 결과 X축, Y축 및 Z축에서 각각 0.8113m, 0.8750m, 0.9945m의 평균편차를 획득할 수 있었으므로 1/25,000 수치지도의 제작가능성을 입증할 수 있었다.

이상의 연구결과로부터 항공삼각측량 작업시 현장측량 작업에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있을 것으로 사료되며 이를 통해 작업의 효율성 및 경제성의 향상을 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 강준목, 박운용, 이재원, "GPS-인공위성보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량" 대한 토목학회 논문집, 제15권 제10호, 1995, 1731~1742
2. 강준목, 최종현, 강영미, "정사투영 영상지도에 의한 수치지형도와 지적정보의 중첩정확도 분석", 한국지형공간정보학회 논문집, 제7권, 제2호, pp.81~91, 1999.
3. 국립지리원, "수치지도 정확도 제고를 위한 수정/갱신 방안에 관한 연구", 국립지리원, 1999.
4. 이종출, 임영빈, 신상철, "번들조정에 의한 항공삼각측량의 삼차원 위치 정확도 향상", 대한토목학회 논문집 제16권 제III-1호, 1996, pp.27~35.
5. Kam W. Wong., & A.M. ASCE., "Computer Programs for Strip Aerotriangulation", Journal of Surveying and Mapping Division, Vol. 95, No. SU1. OCT, pp. 71~81, 1969.
6. Afifi H. Soliman., "Standard Error in Strip Adjustment", PE&RS, Vol.35, No.1, JAN, pp.87~92, 1969.
7. Derenyi, E, E, Digital Photogrammetry: Current Status And Feature Prospects", Geomatica, 49, 1995, 425~431.
8. Emmanuel Baltasvias, Christoph Kaser, "DTM and Orthoimage Generation-A Thorough Analsys and Camparison of four Digital

강준목, 엄대용, 강영미, 전경민

Photogrammetric System", ISPRS Vol 32, part 4,
1998, 49~51.

(2002년 6월 30일 원고접수)