

접합점 자동선정에 의한 항공삼각측량의 자동화

Automation of Aerial Triangulation by Auto Detection of Pass Points

유복모*
Yeu, Bock-Mo*

김원대**
Kim, Won-Dae**

요 旨

본 연구에서는 사진측량 과정에서 항공삼각측량의 접합점 관측과정을 경계선 검색기법과 영상정합기법을 이용하여 특징점 추출, 영상의 정합, 상좌표의 관측 과정을 자동화하였다. 본 연구를 통하여 기존에 수동적인 방법에 의하여 수행되어 오던 항공삼각측량의 접합점 선정 및 상좌표 관측 과정을 특징점 추출 및 좌우 동일점 탐색과정 수행에 의한 접합점 선정 및 관측 자동화 기법을 개발하였다.

자동화된 접합점 선정과정을 적용하여 산출된 결과물은 상좌표의 평균제곱근 오차가 6.8 μm 로서, 기존의 해석적 사진측량방법이 작업자의 경력이나 기술 숙련도에 따라 편차가 발생하는 것에 비해, 균일한 성과를 산출할 수 있으며, 관측 과정에서 소요되는 처리시간은 기존의 해석적인 방법에 비하여 61.2 % 절감되어 경제적인 작업 처리가 가능하였다.

핵심되는 말 : 수치사진측량, 항공삼각측량, 영상정합

ABSTRACT

In this study, tie point observation in aerial triangulation was automated by the image processing methods. The technique includes boundary extraction and image matching processes. The procedures were applied to extract points of interest and to find their conjugate points in the other images. The image coordinates of the identified points were then used to compute their absolute coordinates.

An algorithm was developed in this study for the automation of observation in aerial triangulation, which is a manual process of selecting a tie point and recording the image coordinate of the selected point. The developed algorithm automates this process through the application of a mathematical operator to extract points of interest from an arbitrary image.

The root mean square error of image coordinates of the developed algorithm is 6.8 μm , which is close to that of the present analytical method. In a manual environment, the accuracy of the result of a photogrammetric process is heavily dependent on the level of skill and experience of the human operator. No such problem exists in an automated system. Also, as a result of the automated system, the time spent in the observation process could be reduced by a factor of 61.2 %, thereby reducing the overall cost.

Key Words : Digital Photogrammetry, Aerial Triangulation, Image Matching

1. 서 론

사진측량의 작업과정은 사진촬영계획, 사진의 촬영 및 제작, 내부표정, 상호표정, 절대표정, 입체모형의 조

정, 도면화 및 결과 산출과정으로 이루어져 있다. 이 중에서 입체모형을 구성하는 사진들간의 연결성을 제공할 목적으로 특징점을 추출하여 기준점과의 연결성을 제공하는 것이 항공삼각측량과정이다. 항공삼각측

* 연세대학교 교수

** 연세대학교 산업기술연구소 전문연구원

랑에서는 사진상의 점을 상좌표로 관측하여 종횡접합 입체모형(block)의 조정과정에서 지상좌표를 정밀하게 계산하고, 이를 바탕으로 사진의 도면화나 기타 결과를 만들어 내는 과정에서의 연결점 구실을 한다.

현재까지 상호표정 접합점의 관측과정은 대부분 수동적인 방법에 의하여 이루어져 왔다. 따라서, 관측에 많은 시간이 소요되고, 숙련도에 따라 정확도에 많은 영향을 미치고 있다(유복모,1991).

본 연구에서는 수치사진측량과정에서 핵심이라 할 수 있는 항공삼각측량을 전산화하는데 있어서 접합점 선정 과정을 자동화하여 작업시간을 단축하고, 효율적인 작업이 이루어질 수 있도록 하는데 목적이 있다.

본 연구에서 연구대상지로 선정한 지역은 독일 중부지방에 있는 쾨팅겐지역으로 주거지역과 평야, 산지 지역으로 구성되어 있으며, 고도의 차이는 약 250 m 이다. 수치사진측량에 적용된 영상의 수는 총36매이며, 이는 1:5000 지형도 16매에 해당하는 지역을 포함한다. 본 연구지역에 포함된 면적은 64km²로 사진의 촬영을 통한 종접합입체모형(strip)은 4개로 구성되어 있다.

2. 사진측량 표정의 자동화

2.1 수치사진측량

사진측량의 발전단계는 크게 4단계로 구분할 수 있다. 제 1 세대는 1839년에 사진기술의 발명으로 시작되었으며 지상사진측량과 기구사진측량에서 두드러진 발전을 이루었다. 제 2 세대는 기계적 사진측량시대로 입체사진측량의 시작이다. 제 3 세대는 전산기가 발명되면서 시작된 해석적 사진측량시대로서 전산기술이 발전되면서 사진측량에서도 많은 진전이 있었다. 제 4 세대는 수치사진측량시대로서 인화된 사진보다는 수치화된 영상을 주로 다룬다. 제4세대에 들어서 전산기를 통한 대용량 영상의 저장, 검색, 운용이라는 기본적인 틀을 완성하게 되었다.

수치사진측량은 수치사진기(digital camera), 병렬처리(parallel processing), 그리고 저장용량의 증가와 같은 전산 기기가 급속한 발전을 기록한 1980년대 이후

에 본격화 되었다(Shenk,1996 ; Trinder,1996 ; Nwosu,1996).

수치사진측량의 입력부분에서는 기존의 항공사진을 수치화할 수 있는 수치사진기 또는 스캐너를 이용한다. 처리과정에서 핵심부분은 전산처리용 워크스테이션이다. 출력부분은 격자방식으로 출력할 수 있는 필름기록기(filmrecorder)나 선추적방식으로 출력할 수 있는 도화기 등으로 구성되어있다(Derenyi,1995).

2.2 사진측량 표정 자동화

자동표정과정은 다음과 같이 정의할 수 있다. 먼저 하나의 영상에서 여러 개의 점들을 선택하고 다른 영상에서 이에 대한 대응점을 찾는다. 둘째, 표정요소들에 대한 조정을 실시한다. 이 과정중에서 가장 중요한 단계는 좌우의 두 영상에서 공액점을 찾는 작업이며, 밝기값의 상관관계나 형상정합과 같은 영상정합에 의해서 실시된다. 영상소에 대한 추정이 쉽고, 밝기값이 상관관계를 나타내는 대상영역(window)내에서 충분한 신호를 특성화할 수 있으면 상관방법은 정확하게 수행된다.

2.2.1 다중축척 영상정합기법에 의한 특징점 추출

영상에 나타난 대상물의 크기와 규모는 매우 다양하다. 대상물공간상에서 나타난 현상을 식별하고 정성적으로 설명하기 위해서는, 각기 다른 축척을 가진 영상을 평가하고 결합하는 과정이 필수적이다. 이러한 과정을 다중축척기법이라고 한다. 다양한 크기의 저역 통과 여과(low pass filter)를 이용하여 원래의 영상을 평활화함으로써 다양한 축척을 가지는 영상을 제작할 수 있다(Jensen,1986). 여과의 크기는 영상함수의 축척-공간의 매개변수이다. Gaussian 여과는 몇 가지 특성을 가지고 있기 때문에 평활화과정에서 많이 이용된다. 또한 대상물공간상에서 발생한 현상은 영상함수로 나타내기에는 모호하기 때문에 이를 명확하게 하기 위해서 원시함수가 이용된다.

다중축척접근법에서 이산적인 경우 축척의 단계는 여과(filter)의 크기에 의해서 결정된다. 초기단계에서 공액점을 찾거나 축척-공간에서 이 점들을 추적할 때

축척-공간기법이 이용된다.(Ackermann과 Hahn,1991)

첫번째 단계에서 다양한 크기의 Gaussian 여과를 이용하여 원래의 영상을 평활화할 때, 다중축척 개념이 도입된다. 이때 대응하는 영상 처리방법이 영상피라미드이다. 두 번째 단계는 영상피라미드를 LoG 연산자(operator)에 연결시킨다. 또한 원래의 영상을 ω 보다 큰 LoG에 연결시키는 경우에도 같은 결과가 얻어진다. 이산적인 축척-공간을 영상피라미드로 표현하는 것은 실행에 관한 문제이다. 경계선의 정합이 이루어지면, 분절된 0이 교차하는 것에 의해서 선분이 정합된 초기단계에서 공액점이 결정된다. 정합된 선분들의 위치는 다음 단계에서 대상영역의 중심이 된다. 여기에서 대상점들이 결정되어 정합되고 다음 단계에서 대상영역의 중심이 된다.(그림 2.1)

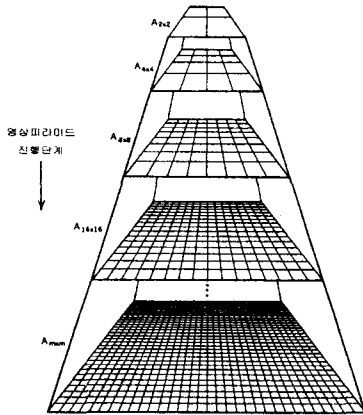
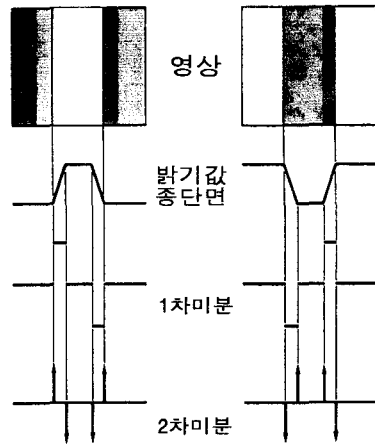


그림 2.1 영상피라미드

2.2 경계선 검색

기본적으로 대부분의 경계선 검색은 편미분을 계산하는 것과 관련되어 있다. 이 개념은 그림 2.2로부터 쉽게 파악할 수 있다. 그림 2.2(a)는 어두운 배경에 있는 일정한 밝기의 대상물의 영상, 영상 수평주사선의 밝기값 종단면, 그리고 종단면의 1, 2 차 미분 함수를 나타내고 있다. 경계부분이 경사지게 모호화되어 있는 부분은 밝기값이 어두운 곳에서 밝은 부분으로 옮겨가는 갑작스런 변화를 나타낸다. 이 모형은 수치영상에서의 경계가 영상재배열의 결과로 약간 흐려졌다

사실을 나타내는 것이다(Pratt,1991;Klette,1996).



(a) (b)

그림 2.2 미분에 의한 경계선 검색자의 요소

이와 같은 방식에서 일정한 밝기값을 갖는 전체 영역에서 경계 모형의 1차 미분 함수는 0이 된다. 그리고 밝기값의 변환에 있어서 일정한 값을 갖는다고 가정할 수 있다. 반면에 2차 미분 함수는 밝기값이 변환하는 시작에서부터 끝나는 부분까지 전체의 위치에서 0이 된다. 그림 2.2에 나타난 개념에 기초하여, 1차 미분 함수의 크기는 경계 유무를 검색하기 하기 위하여 사용할 수 있다. 반면에 2차 미분 함수는 경계의 한 영상소가 경계의 밝은 부분(대상물) 또는 어두운 부분의 어느 쪽에 놓여 있는 가를 계산하는 데 사용할 수 있다.

2.3 영상 중첩의 산정

중첩모형내의 대부분의 점들은 그림 3.1 에서와 같이 2개 이상의 영상에 나타난다. 그러므로 가장 적절한 공액점의 위치를 찾고자 하는 경우에 모든 영상 조각들을 동시에 정합시키면 된다. 그러나 기존의 기계적 또는 해석적인 방법에서는 이러한 작업은 불가능하였다. 그 이유는 인간이 한 번에 단지 2개의 영상만을 볼 수 있고, 기계상의 문제로 인하여 설치될 수 있는 사진의 수가 2개로 제한되어 있기 때문이다. 그

러나 전산기를 이용한 항공삼각측량에서는 다중영상 정합은 접합점과 관련된 문제들을 다음과 같이 해결할 수 있다.

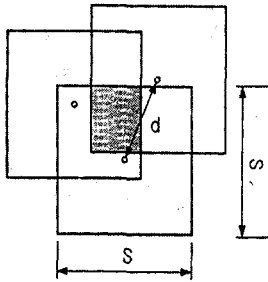


그림 2.3 부분적으로 중복된 3개의 중형접합입체모형

이 방법은 근사위치를 결정할 뿐만 아니라 정합영역의 크기도 결정한다. 그림 2.3은 각 변의 길이가 $s \times s$ 인 3개의 영상조각들을 나타낸다. 각 영상조각들의 중심은 대략 알려져 있으며, 면적은 하나의 영상이 차지하는 영역보다 작다. 예상되는 정합위치를 미지값 d 라고 가정하면, 배치상태가 가장 나쁜 경우에 세 개의 대상영역이 한 방향으로 $2d$ 만큼 떨어져서 배열된다. 세 개의 대상영역과 인접한 중점모형에 대해서 이러한 작업들을 반복적으로 수행한다.

3. 항공삼각측량 자동화 기법 확립

3.1 자동 항공삼각측량을 위한 기법

수치사진측량과정에서 항공삼각측량을 자동화하기 위하여 그림 3.1과 같은 기법을 확립하였다.

본 연구에서 사용된 기법은 영상의 수치화 단계를 거친후 중형접합입체모형에 대한 초기입력값을 이용하여 전체 입체모형내에서 각 영상간의 상관관계를 계산한다. 이 과정은 검색된 특징점들의 정합 탐색영역을 설정하기 위한 과정이다.

다음 단계로서 경계선 검색에 의해서 특징점을 추출하기 위한 과정을 거친후 각 특징점에 대한 인식번호를 부여한다. 이 번호는 영상정합에 의해 공역점을 검색한 후, 지상좌표를 계산하기 위한 조정과정에서

필요한 정보이다.

추출된 특징점은 상관계수영상정합을 이용하여 공역점의 존재 여부를 확인하고 상좌표를 관측한다. 이 과정에서 공역점이 존재하지 않을 경우에는 부정합점으로 특징점을 소개한다.

위의 과정을 통하여 검색된 접합점들의 상좌표 관측 목록을 작성하고, 항공영상상에 존재하는 기준점에 대하여 상좌표 관측을 실시한다. 이 과정은 앞서 관측된 접합점들과 지상기준점을 연결하는 과정이다.

최종적으로 관측된 값들을 광속조정에 의하여 지상좌표로 계산하고, 이과정에서 상호표정의 외부표정요소를 계산한다.

광속조정과정에서 자동 관측된 접합점 관측값들에 대한 오차의 점검이 중요하며, 영상정합과정에서 부정합에 의한 과대오차 포함 여부를 판단하고 이를 제거하여 정확도를 향상시키기 위한 과정이 포함되어 있다.

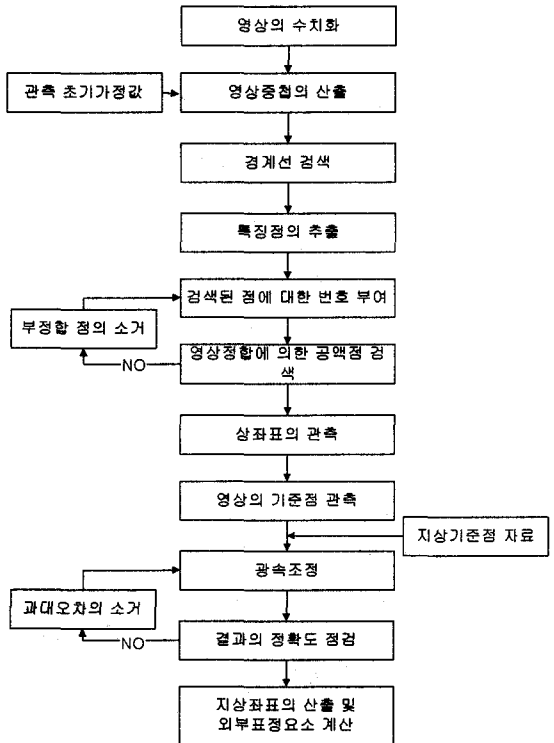


그림 3.1 자동 접합점 선정을 위한 흐름도

3.2 구축된 기법의 특성

그림 3.1 에 나타나 있는 항공삼각측량의 접합점 관측과정의 자동화와 이들 자료를 활용하기 위한 기법 들은 수치사진측량의 과정에서 항공영상의 처리 및 산출된 결과의 활용을 위한 단계이다.

특히 접합점 관측의 자동화는 이미 구축되어 있는 내부표정의 자동화과정과 함께 수치적인 사진측량의 처리에 있어서 핵심적인 부분이라 할 수 있다. 현재 이부분은 대부분 수작업에 의해서 이루어지고 있는 과정으로서 처리에 많은 시간이 소요되고 있으며, 이 과정에서 도출되는 결과물의 정확도는 사용기기, 작업자의 숙련도, 작업자의 주관등에 의하여 많은 영향을 받고 있다.

따라서, 본 연구에 의하여 구축된 접합점 관측 자동화과정은 사진측량 작업에 있어서 높은 정밀도가 요구되고 많은 시간을 소요하는 작업과정을 자동화하므로써 내부표정의 자동화와 기준점 자동인식에 의한 절대표정의 자동화과정 등과 연결이 되면 사진측량의 주요 작업단계가 자동화되므로써 전산기상에서 일괄적인 작업의 처리가 이루어질 것이다.

4. 항공삼각측량 자동화의 적용

4.1 실험대상지 및 항공사진의 제작

본 연구를 수행하기 위하여 선정된 실험대상지는 독일의 중부 지역인 Goettingen 8km×8km 지역이다.

수치사진측량을 수행하기 위하여 이들 지역에 대한 항공사진촬영은 1997년 8월 4일에 실시되었다. 이 항공사진촬영은 중중복 60%, 횡중복 30%, 항공사진 축척 1 : 12,000으로 작업이 진행되었으며, 총 4개의 종접합 입체모형에 36장의 항공사진을 취득 하였다. 사진촬영 경로지도는 그림 3.2 에 나타나 있다.

또한, 연구대상지역에 대한 항공사진 촬영에 사용된 항공사진측량용 사진기는 Wild사의 RC30이며, 사용된 사진기의 제원 및 특성은 표 4.1에 나타나 있다.

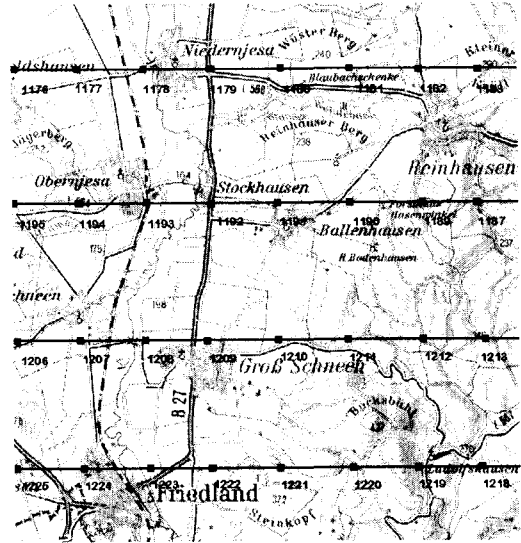


그림 3.2 사진촬영 경로지도

표 4.1 사용된 항공사진측량용 사진기의 제원 및 특성

명칭	Wild RC30 30/4	
초점 거리	303.550 mm	
사진의 크기	23 cm × 23 cm	
사진지표의 수	8개	
주점 위치	자동시준 주점	x = 0.015 mm y = 0.017 mm
	대칭적인 주점	x = -0.005 mm y = 0.016 mm

항공기의 고도는 평균 3900 m 이며, 종접합모형은 방위각이 90° 와 180° 로 180° 의 방위각 차이로 구성되어 있다. 항공사진은 지상대비 약 2.75 km × 2.75 km로 면적은 약 7.6 km²를 포함하고 있다. 각 종접합모형의 시작과 끝을 구성하는 사진 촬영점에 대한 초기값은 표 4.2에 나타나 있다.

촬영된 사진은 사진측량용 스캐너를 이용하여 영상으로 취득하였다. 사진의 수치화에서 사용된 스캐너는 Wild사의 SKAI를 사용하여 해상력 28 μm로 TIFF 영상 형식으로 수치입력 하였다.

좌우 한쌍을 이루는 수치화된 항공사진영상의 예는 그림 3.3 및 그림 3.4에 나타나 있다.

표 4.2 사진 중심의 초기 추정값

번호	Y(m)	X(m)	고도(m)	방위각(°)
1177	3563006	5704979	3900	90
1184	3570002	5704970	3900	90
1187	3569996	5703023	3900	270
1195	3561999	5703019	3900	270
1206	3562002	5700958	3900	90
1214	3570003	5700981	3900	90
1217	3569999	5699024	3900	270
1225	3561995	5699030	3900	270



그림 3.3 수치화된 항공사진(좌측, 사진 번호 1177)



그림 3.4 수치화된 항공사진(우측, 사진 번호 1178)

4.2 자동 항공삼각측량

4.2.1 내부표정

수치사진측량에서의 내부표정은 표준 사진지표를

이용하여 사진의 주점 및 렌즈 등에 의한 왜곡 정도를 찾아 내는 것이다. 본 연구에서는 영상정합에 의한 내부표정을 위하여 그림 4.1과 같은 표준 사진지표를 사용하였다.

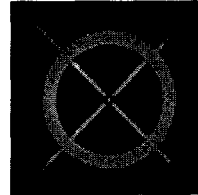


그림 4.1 표준 사진지표

본 연구의 항공사진 영상 취득과정에서 사용된 항공사진측량용 사진기에는 그림 3.3, 그림 3.4와 같이 8개의 지표가 배치되어 있으나, 본 연구에서는 일반적인 사진측량 과정에서 많이 사용되는 방법인 대각선 방향에 있는 4개의 사진지표로 내부표정을 수행하였다.

내부표정은 표준 사진지표를 이용하여 4개의 모서리 사진지표를 영상소 단위로 관측하였다. 관측된 각 항공영상의 사진지표에 대한 영상좌표의 예는 다음 표 4.3과 같다.

표 4.3 사진지표의 영상좌표 (단위 : 영상소)

번호	사진지표1		사진지표3		사진지표2		사진지표4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1176	7972	7979	400	396	393	7972	7977	403
1177	7966	7980	396	397	387	7973	7972	405
1178	7966	7977	393	395	388	7971	7970	400
1179	7967	7981	388	406	388	7982	7965	404
1180	7968	7985	389	410	389	7986	7965	409
1181	7976	7955	394	381	396	7958	7971	377
1182	7973	7959	392	386	395	7963	7969	382
1183	7967	7975	394	393	388	7970	7971	397
1184	7970	7983	397	401	391	7978	7974	405

앞의 과정에 의해서 구해진 각 사진지표의 위치를 이용하여 사진의 주점 위치를 계산하였다. 이러한 계산의 과정에서 산정된 사진의 주점은 사진기 검정표에 나타난 사진의 주점 이동량 만큼을 이동하여야 한다. 본 연구에 사용된 사진기의 주점 이동량은 x방향으로

0.015 mm, y 방향으로 0.017 mm이므로 x,y방향으로 각각 0.54 영상소, 0.61 영상소 만큼씩을 좌표 이동하여야 한다. 이렇게 보정된 주점의 좌표는 표 4.4에 나타나 있다.

표 4.4 보정된 주점의 좌표 (단위 : 영상소)

번호	x	y	번호	x	y
1176	4184.96	4186.89	1206	4178.46	4186.39
1177	4179.71	4188.14	1207	4182.96	4185.89
1178	4178.71	4185.14	1208	4178.71	4184.89
1179	4176.46	4192.64	1209	4179.96	4187.14
1180	4177.21	4196.89	1210	4179.96	4185.89
1181	4183.71	4167.14	1211	4180.46	4186.64
1182	4181.71	4171.89	1212	4181.71	4192.14
1183	4179.46	4183.14	1213	4182.71	4193.64
1184	4182.46	4191.14	1214	4180.96	4194.39
1187	4178.21	4187.89	1217	4166.96	4183.64
1188	4180.46	4188.64	1218	4184.71	4179.14
1189	4182.21	4188.14	1219	4178.96	4185.39
1190	4178.71	4187.89	1220	4181.71	4186.39
1191	4179.96	4188.64	1221	4180.96	4188.39
1192	4180.71	4185.64	1222	4178.21	4192.89
1193	4179.71	4186.14	1223	4181.46	4193.64
1194	4181.71	4187.89	1224	4181.96	4196.14
1195	4179.21	4186.64	1225	4182.46	4196.11

내부표정에 의해 탐색된 지표들을 이용하여 사진의 변형률을 계산하였다. 표 4.5에서 나타난 예와 같이 계산결과 본 연구에서 사용된 영상들은 변형률이 0.1% 미만으로 나타났다.

표 4.5 각 지표간의 변형률

번호	지표 1-2	지표 2-3	지표 3-4	지표4-1
1176	0.0985835	0.0589614	0.0735849	0.0603774
1177	0.0985835	0.0589614	0.0603774	0.0471698
1178	0.0853762	0.0589614	0.0735849	0.0735849
1179	0.0985835	0.0589614	0.0735849	0.0735849
1180	0.0985835	0.0589614	0.0603774	0.0603774
1181	0.1117909	0.0721688	0.0735849	0.0867925
1182	0.0853762	0.0721688	0.0735849	0.0735849
1183	0.0985835	0.0721688	0.0735849	0.0867925
1184	0.0985835	0.0721688	0.0735849	0.0867925

4.2.2 특징점 탐색 및 정합

자동항공삼각측량은 입체모형을 구성하는 영상들간

의 접합점을 관측하고, 취득된 접합점을 이용하여 좌우 영상간의 상관관계를 파악하는 과정이다. 본 연구에서는 우선 각 항공영상을 경계선 검색자에 의하여 처리한 후, 특징점들을 탐색하고, 이 특징점 들에 대한 번호를 부여한 다음, 여기에 정합이되는 점들을 다른 영상에서 찾아내는 과정으로 진행되었다.

각 영상에 대하여 경계선 검색을 실시하여 특징점을 추출하고 이를 좌우 관련 영상에서 이에 대응하는 공역점들을 영상 상관계수 정합기법에 의하여 탐색하였다. 기준영역의 크기는 사진상에서 나타는 특징을 포함할 수 있도록 9×9 영상소로 설정하였으며 상관계수 한계 값은 0.85 이상으로 설정하여 영상정합을 수행하도록 하였다. 이과정에서 전체영상에 대하여 영상정합을 실시할 경우 계산과정에 많은 시간을 소요하게 되므로, 촬영시의 위치정보를 포함하는 비행정보 파일상에서의 좌표를 비교하고 안전율을 고려하여 탐색 영역을 41×41 영상소로 제한하였다.

표 4.6 특징점 탐색의 결과

사진번호	점의 수	사진번호	점의 수
1176	124	1177	227
1178	225	1179	220
1180	186	1181	240
1182	372	1183	432
1184	305	1187	203
1188	286	1189	300
1190	309	1191	317
1192	332	1193	300
1194	340	1195	214
1206	257	1207	341
1208	325	1209	338
1210	392	1211	359
1212	337	1213	345
1214	241	1217	233
1218	353	1219	296
1220	292	1221	337
1222	370	1223	360
1224	337	1225	224

각각의 영상에 대하여 상하 좌우의 관련 영상에서 정합점들을 탐색한 결과는 다음 표 4.6에 나타나 있다.

표 4.6에 나타난 바와 같이 특징점 탐색의 결과 10,646점이 36개의 영상에서 관측되었다. 각각의 특징

점들은 인접한 영상과의 영상정합을 통하여 각각의 영상에서 인식된 점들로, 항공삼각측량에서 접합점으로 사용할 수 있다. 이러한 관측의 결과는 영상소좌표에서 μm 단위로 환산하여 광속조정의 과정에서 사용될 수 있도록 하였다.

이 과정에서 관측된 각 접합점들의 분포는 그림 4.2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 자동 기준점의 관측은 특징점들이 많은 도로, 주택가 또는 사진의 중첩되는 부분에 밀집되어 나타나는 것을 알 수 있다.

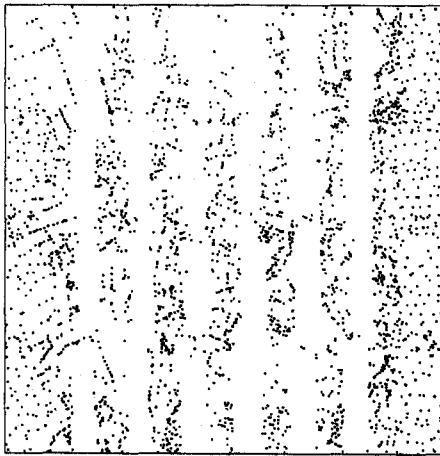
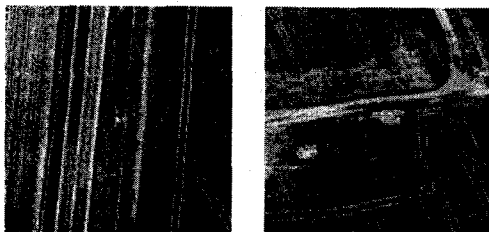


그림 4.2 자동관측된 접합점들의 분포

4.2.3 지상기준점의 관측

본 연구에서 사용된 항공사진영상에는 그림 4.3과 같이 사진촬영이전에 설치된 대공표지에 의하여 지상 기준점을 관측하므로써 절대표정에 필요한 기준점의 값을 구하였다.



(a) 기준점 67 (b) 기준점 84
그림 4.3 지상기준점 관측

각 항공사진영상에 포함된 지상 기준점들을 관측한 결과는 다음 표 4.7에 나타나 있다.

표 4.7 기준점 좌표 관측 결과

번호	포함영상	X 좌표(μm)	Y 좌표(μm)
20	1183	-15726.51	4370.67
	1182	-100597.02	2530.42
	1184	70487.78	12.12
22	1182	102456.95	-108870.23
	1181	18255.77	-109084.83
	1180	-70630.60	-102644.15
61	1192	-944.64	-37128.67
	1191	-83875.48	-40018.56
	1193	83126.34	-39324.32
71	1224	43604.31	-109622.13
	1223	-38851.88	-108641.82
76	1224	2254.00	6296.32
	1223	-82025.96	7010.92
	1225	86589.86	3545.97
79	1218	-21671.92	34410.80
	1219	64477.59	31436.12
84	1207	73576.05	-41234.54
	1206	-10225.97	-42959.66
87	1177	52740.74	57535.56
	1176	-30164.99	58808.01
56	1217	-21764.26	59932.87
	1218	65564.06	54805.68

이렇게 관측된 지상기준점 및 접합점들의 상좌표들은 다음의 과정인 광속조정과정을 위하여 하나의 관측값 파일로 처리되어 광속조정단계의 입력 파일로서 사용될 수 있도록 처리 되었다.

4.2.4 접합점에 대한 광속조정

접합점의 관측과 지상기준점의 관측과정을 통하여 작성된 상좌표 집합을 각 사진의 단위로 정리한 다음, 광속조정을 실시하였다.

우선 각 관측값들에 대하여 부가 매개변수를 고려하지 않은 상태에서 조정을 실시하였다. 이 경우, 과대오차가 포함된 관측값을 모두 포함하여 조정을 실시하게 되므로 조정의 결과는 표 4.8에 나타난 바와 같이 상좌표의 평균계급근오차가 $25.53 \mu\text{m}$ 로 크게 나타났다.

그러나, 부가매개변수를 고려한 결과 고려하지 않은 경우와 대비하여 상좌표의 정확도가 55.7 % 향상된 11.31 μm 의 평균제곱근 오차를 나타내었다.

표 4.8에 나타난 것과 같이 접합점에 대하여 과대오차 소거를 실시한 경우에는 상좌표의 평균제곱근 오차가 7.2 μm 로 부가매개변수를 고려하지 않은 경우에 대하여서는 71.8 %의 정확도 향상이 있었으며, 과대오차소거를 실시하지 않고 부가매개변수만을 포함하여 조정을 실시한 경우에 대해서는 31.0 %의 정확도 향상이 있었다.

이러한 정확도의 향상은 자동적으로 관측된 점들이 과대오차를 포함하고 있으므로 초기의 계산과정에서 많은 영향을 미쳤으며, 이후 부가매개변수 및 과대오차의 소거 과정에서 이들 점을 제외하고 계산하였을 때에 많은 정확도의 향상을 가져 온 것으로 사료된다.

표 4.8 상좌표에 대한 광속조정 결과값

경 우	조정결과(μm)
일반적인 광속조정	25.53
부가매개변수를 고려한 광속조정	11.31
과대오차를 소거한 광속조정	7.20
기준점의 과대오차를 소거한 광속조정	6.80

그러나, 기준점의 과대오차를 소거한 광속조정의 경우 많은 정확도 향상을 보이지 않은 것은 기준점 관측이 상대적으로 수동적인 방법에 의하여 이루어 지고, 지상측량 관측값이 정확하여 과대오차로 인한 계산상의 영향이 거의 없었던 것으로 사료된다.

4.3 비교고찰

본 연구는 수치사진측량의 상호표정 과정에 있어서 접합점을 관측하는 과정을 자동화하기 위하여 경계선 검색과 영상정합기법을 적용하였다.

수치사진측량은 기존의 기계적 사진측량 또는 해석적 사진측량과는 달리 전산기상에서 일련의 작업으로 사진측량이 가능하므로 정확도 문제만 해결된다면 앞으로 지형공간자료의 신속한 취득 및 갱신에 유용하

게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

항공삼각측량의 접합점 관측 자동화 기법에 의하여 선정된 연구의 결과는 기존의 항공사진측량 또는 근거리사진측량 결과와 비교하여 크게 차이가 나지 않는 것으로 추후 기준점의 자동 인식 등의 연구가 진행되면 사진측량과정의 자동화가 이루어질 것이다(허두홍,1989, 정수,1990).

수동적인 방법으로 접합점을 선정하는 과정에서 각 사진에서 특징점들을 육안관측에 의한 방법으로 각 사진에 대하여 선정하여야 하며, 이렇게 선정된 점들에 대해서 단사진 좌표관측기 또는 입체 도화기상에 정착하는 내부표정, 입체모형을 구성하는 상호표정의 과정을 거쳐야만 관측값을 구할 수 있다. 여기에 소요되는 시간에 대한 분석을 실시한 결과는 표 4.9에 나타나 있다.

표 4.9 수동 및 자동 관측 비교(산정단위 : 1입체모형)

관측방법	자동화	수동관측	
		숙련자	비숙련자
사 진 정 치	없음	438.22(초)	624.89(초)
상좌표 관측	299.58(초)	218.67(초)	318.22(초)
총 소요시간	299.58(초)	656.89(초)	934.11(초)
조정 정확도	6.8 μm	약 4 - 5 μm	약 7 - 8 μm

표 4.9의 수동 관측부분에 나타난 것은 입체모형을 구성하여 관측하는 시간만을 관측한 것으로 접합점의 수동적인 선정 및 점이사 과정, 종접합모형간의 접합점 관측에 소요되는 시간은 제외하였으므로 실제의 시간보다는 과소 평가되었다고 할 수 있다. 그러나, 준비단계에서 필요로하는 소요시간을 제외하고도 자동적인 관측 방법을 이용하는 경우 소요되는 시간이 수동적인 방법에 비하여 각각 54.4%에서 68.0%로 평균 61.2%의 계산시간 절감이 가능하였다. 또한 숙련자와 비숙련자간에는 소요시간 뿐만아니라 정확도에서도 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 최근 지형공간자료의 구축과 신속한 자

료의 갱신을 위하여 필요성이 대두되고 있는 수치사진측량에 있어서 항공삼각측량의 접합점 관측과정을 자동화하기 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존에 수동적인 방법에 의하여 수행되던 항공삼각측량의 접합점 선정 및 상좌표 관측 과정의 자동화 기법을 개발함으로써 지형공간정보체계 자료기반구축과 자료 갱신에 큰 기여를 하게되었다.
2. 항공삼각측량에 있어서 자동화된 접합점 선정과정을 적용하여 산출된 결과물은 상좌표의 평균제곱근 오차가 6.8 μm 로서 해석적인 방법에 의한 정확도에 근접하는 결과를 얻었으며, 관측과정에서 소요되는 처리시간은 기존의 해석적인 방법에 비하여 약 61.2 % 절감되어 경제적인 작업이 가능하였다.
3. 접합점 자동 선정과정에 의해 산출된 결과는 기존의 해석적 사진측량방법이 작업자의 경력이나 기술 숙련도에 따라 상좌표 오차 4 - 8 μm 로 편차가 발생하는 것에 비해, 산출된 성과의 균일성을 기할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 유복모 (1991), 사진측정학, 문운당, pp. 12-47.
2. 허두홍, 사진측량의 정확도 향상을 위한 외부표정 요소의 해석, 연세대학교 석사학위논문, 1989.
3. 정수, 근거리 사진측량에서 변들조정기법에 의한 블록조정에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, 1990.

4. Ackermann, F., and Hahn, M. (1991), Image pyramids for digital photogrammetry, Digital photogrammetric systems, (Wichmann Verlag), pp. 43-58.
5. Derenyi, E. E. (1995), Digital photogrammetry : current status and future prospects, Geomatica, 49(4), pp. 425-431.
6. Jensen, J. R. (1986), Introductory Digital Image Processing, Prentice Hall, pp. 138-143.
7. Klette, R. (1996), Handbook of Image Processing Operators, John Wiley & Sons, pp. 113-192.
8. Nwosu, Z. A. (1996), Digital versus analytical: a matter of photogrammetric coexistence, Geomatics Info Magazine, 10(1), pp. 35-37.
9. Pratt, W.K. (1991), Digital Image Processing, 2nd edition, Wiley Interscience, pp. 447-662.
10. Schenk, T., and Hoffmann, O. (1989), Stereo Matching using Line Segment of Zero Crossings, Proc. ISPRS, Symp., Comm. III, Vol. 19, pp. 362-368.
11. Shenk, T. (1996), Concepts in Digital Photogrammetry, 한국지형공간정보학회 전문가 초청강좌, pp. 1-12.
12. Trinder, J., and Donnelly, B. (1996), Digital photogrammetry : what it can do and how it will affect the future photogrammetry, Geomatics Info Magazine, 10(1), pp. 6-8.