

# 항공디지털카메라 UltraCamX의 사진기준점 정확도 분석

## Accuracy Analysis of Aerial Triangulation using UltraCamX which is Airborne Digital Camera

이재원<sup>1)</sup> · 나종기<sup>2)</sup> · 정창식<sup>3)</sup> · 배경호<sup>4)</sup>

Lee, Jae-One · Na, Jong-Gi · Jung, Chang-Sik · Bae, Kyoung-Ho

### Abstract

Nowadays, as going to information society based knowledge, the informations are acquired, processed, serviced based digital environment. In surveying field, the trend have been changed from the analog foundation to the digital foundation. Also, aerial photogrammetry is being changed from analog aerial photogrammetry to digital aerial photogrammetry.

In this paper, the analysis of accuracy is performed for the comparison of traditional aerial photogrammetry with digital aerial photogrammetry using UltracamX in AT and Block Adjustment. As the results, Bundle adjustment in digital aerial photogrammetry with GPS/INS have more advantages than traditional independent adjustment in analog aerial photogrammetry. Digital aerial photogrammetry contributes the higher accuracy in AT and block adjustment more than analog aerial photogrammetry.

Keywords : Digital Aerial Photogrammetry, Aerial Triangulation, Block adjustment, GCP

### 초 록

최근 지식기반정보화 사회로 진입하면서 정보의 수집, 처리, 서비스가 디지털 기반에서 이루어지고 있다. 측량분야 역시 전통적인 아날로그 기반에서 디지털 기반으로 전환하고 있으며, 항공사진측량분야에서도 아날로그항공사진측량에서 디지털항공사진측량으로 변화하고 있다. 이에 본 연구에서는 전통적인 아날로그항공사진측량과 UltraCamX를 이용한 디지털항공사진측량의 사진기준점측량 및 블록조정 후 잔차 특성에 대한 비교분석을 실시하였다. 분석 결과, 사진기준점측량에서는 GPS/INS를 탑재한 디지털항공사진측량의 번들조정법이 아날로그항공사진측량의 전통적인 독립모델법보다 우수하였으며 최소의 기준점만을 사용하여도 우수한 결과값을 가짐을 알 수 있었다. 또한 블록조정 후 잔차 특성 분석에서도 디지털항공사진측량이 우수하였다.

핵심어 : 디지털항공사진측량, 사진기준점측량, 블록조정, 지상기준점

## 1. 서 론

최근 지식기반정보화 사회로 진입하면서 보다 많은 정보가 디지털화를 요구하고 있다. 특히, Google사의 Google Earth와 MicroSoft사의 Virtual Earth 등은 항공사진측량과 원격탐사기법을 이용하여 디지털화된 지형정

보를 전 세계에 제공하고 있다. 이처럼 3D를 포함한 가상지구 서비스까지 가능한 것은 자료취득 및 처리, 배포, 전송, 인터넷 서비스가 디지털 기반에서 이루어지기 때문이다. (정성혁 등, 2008)

또한 측량분야의 작업환경도 아날로그 기반에서 디지털기반으로 급속히 전환됨에 따라, 항공사진측량분야에

1) 정희원 · 동아대학교 토목해양공학부 교수 · 공학박사(E-mail:leejo@dau.ac.kr)

2) 동아대학교 토목해양공학부 시간강사 · 공학박사(E-mail:n2200@hanmail.net)

3) 정희원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail:ccs@deu.ac.kr)

4) 교신저자 · 정희원 · 대한측량협회 측량정보기술연구원 선임연구원 · 공학박사(E-mail:khbae@kasm.or.kr)

서도 과거 아날로그 기반의 기계식 및 해석식 사진측량은 디지털 기반의 수치사진측량으로 변화되고 있다. (황원순 등, 2007)

디지털카메라를 이용한 항공사진측량은 기존의 현상, 인화, 스캐닝 작업이 생략된 디지털기반에서 자료를 취득하고 처리할 수 있으며 최종성과물의 배포, 전송을 가능하게 하였다.

마지막으로 디지털카메라는 다양한 CCD센서의 조합으로 인하여 단일 비행으로도 흑백(Panchromatic), 칼라(RGB), 근적외선(NIR) 영상 등 여러 종류의 영상을 동시에 취득할 수 있는 이점이 있다. (Lalberl F 등, 2003)

본 연구에서는 Vexcel Imaging사의 항공사진측량용 디지털카메라 UltraCamX으로 연구 대상지를 촬영하고 촬영된 디지털영상을 처리하였다. 향후 본격적인 항공사진측량용 디지털카메라의 활용을 위해 기존 아날로그항공사진측량은 일반적으로 많이 사용되고 있는 독립모델법을 이용한 사진기준점측량을 수행하였으며, 디지털항공사진측량은 변들조정법에 의한 사진기준점측량을 수행하여 비교분석하였다.

본 연구의 주요내용은 다음과 같다.

첫째, GCP 분포에 따른 사진기준점의 정확도를 분석하였다.

둘째, 농경지, 도심지, 주거지의 대상지역별 블록조정 후 잔차 특성을 분석하였다.

## 2. GPS/INS 사진기준점측량

### 2.1 GPS/INS Direct Georeferencing

지형공간정보를 취득하는 매핑센서에 대한 정보 즉, 촬영 당시 탑재된 센서의 위치 및 자세 정보를 직접적으로 얻을 수 있는 기법인 Direct Georeferencing은 GPS와 INS를 통합함으로써 수행된다. GPS로부터 플랫폼의 절대 위치정보를 얻을 수 있고, 시간이 경과함에 따라 변화하는 플랫폼의 위치 및 회전요소는 INS로부터 구할 수 있다. (이재원, 2005 ; 한상득 등, 2004 ; 박운용 등, 2004)

### 2.2 항공사진측량용 디지털카메라

항공사진측량용 디지털카메라는 영상을 획득하는 센서의 형태에 따라 선형방식과 면형방식으로 구분된다. 일반적으로 선형방식의 디지털카메라는 기하학적인 구

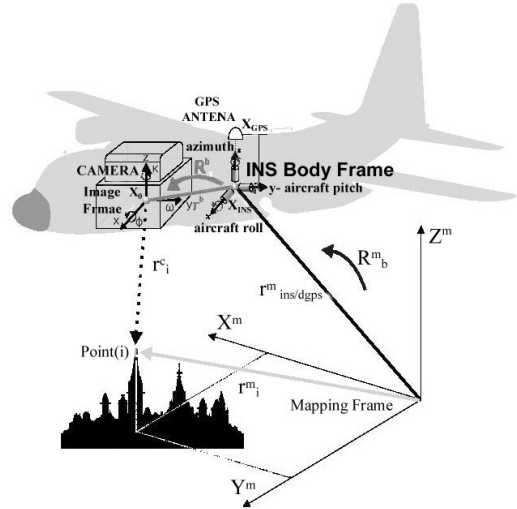


그림 1. Direct Georeferencing의 구성 요소

조가 안정적인 반면, 기존 항공사진과 다른 형태의 영상이 획득되며 GPS/INS를 반드시 탑재해야 한다. 면형방식의 디지털카메라는 GPS/INS 장비 없이 촬영이 가능하며 기존 항공사진과 동일한 영상구조를 가지고 있어 자료처리가 용이하지만, 기하학적인 안정성이 상대적으로 낮을 수 있는 문제점이 있다.

현재까지 개발된 대표적인 지도제작용 디지털카메라는 그림 2와 같이 선형방식인 Leica사의 ADS40과 면형방식인 Z/I Imaging사의 DMC, Vexcel사의 UltraCam 등이 있다. (M. Cramer, 2005 ; 한국건설교통기술평가원, 2007)

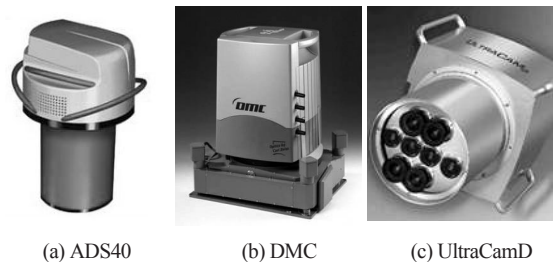


그림 2. 지도제작용 디지털카메라

## 3. 관측 및 자료처리

### 3.1 관측대상지 및 사용장비

본 연구에서는 아날로그항공사진측량과 디지털항공사

진측량을 비교분석하기 위하여 평택 국제화계획지구를 연구지역으로 선정하였다.

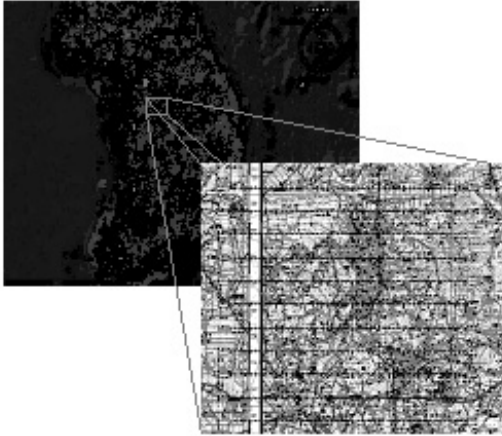


그림 3. 촬영지역

평택 국제화계획지구를 선정한 사유는 산악지, 농경지 및 주거지를 모두 포함하고 있기 때문이다. 촬영 시기는 적설 및 폭우 등의 기상영향을 적게 받는 2007년 3월과 5월에 실시하여 최대한 많은 지형지물을 파악하고자 하였다. 그림 3은 촬영지역인 경기도 평택 국제화 계획지구의 위치를 표시한 것이다.

동일 촬영지역을 대상으로 GCP(Ground Control Point) 측량을 수행하여 아날로그항공사진측량과 디지털항공사진측량의 결과를 비교 고찰하였다. 아날로그 촬영은 기존 작업규정에 준하여 중중복도 60%, 횡중복도 30%로 촬영하였으며 디지털항공사진측량은 항공용 디지털카메라의 우수성을 고려하여 중중복도 75%와 횡중복도 35%로 촬영하였다. 두 촬영시스템 모두 항공사진측량작업내규를 만족하도록 비행설계를 하였다.

기상조건은 모두 쾌청 일에 촬영하였으며, 촬영고도는 아날로그 카메라를 탑재한 비행기는 고도 750m이며, 디지털 카메라를 탑재한 Cessna 404는 고도 1,420m에서 촬영하였다. 표 1은 두 촬영시스템간의 비행정보를 수록한 것이다.

본 연구에서는 항공사진측량작업내규에 준하여 GCP를 촬영대상 지역 내에 위치하였다. 수평기준점은 촬영 진행방향으로 2모델마다 1점씩 중복부분에 배치하였으며 촬영방향과 직각방향으로는 코스 중복부분마다 1점씩 선점되도록 배치하였다. 그림 4는 대상지내에 설치된 GCP 배치를 나타낸 것이다.

표 1. 촬영개요

Item	Analog Aerial Photometry	Digital Aerial Photometry
Date	19. March. 2007	05. May. 2007
Model	75	423
Overlap	60%	75%
Sidelap	30%	35%
Test Field	20km <sup>2</sup>	20km <sup>2</sup>
Height	750 m	1,420 m
Strip	8	11
Aerial Triangulation	Independent Model (Match-AT)	Bundle Adjustment (Match-AT & Bingo)
GCP Numbers	Horizontal : 34 Verticla : 92	Horizontal : 35 Verticla : 91
Camera Type	RMK-TOP	UltraCamX
Airplane	Cessna 206	Cessna 404

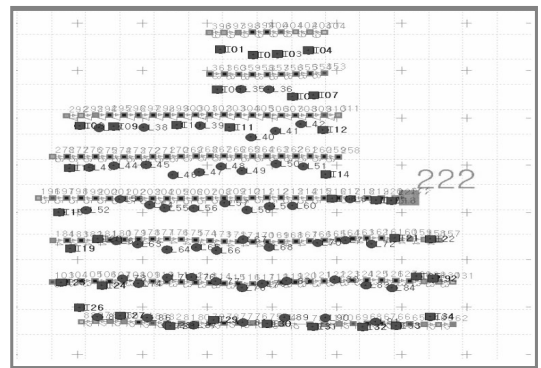


그림 4. GCP 분포도

본 실험에 사용된 관측 장비는 아날로그항공사진측량에서는 RMK-TOP 아날로그 카메라 및 Ultrascan 필름 스캐너가 사용되었으며, 디지털항공사진측량에서는 UltraCamX 디지털카메라 및 GPS/IMU 장비 일체가 사용되었다. 표 2는 본 실험에 사용된 아날로그항공사진측량 및 디지털항공사진측량의 장비 구성과 장비명을 나타낸 것이다.

표 2. 사용장비

Type	Analog	Digital
Camera	RMK-TOP	UltraCamX
Film	Kodak	×
Scanner	Ultrascan	×
GPS	×	IGI
INS	×	IGI
GPS/INS Integration	×	Aero Control
GPS/INS S/W	×	AEROoffice
Airplane	CESSNA 206	CESSNA 404
Planning system	×	WinMP CCNS
Ground Surveying	Trimble 4700 및 5700 Level	Trimble 4700 및 5700 Level
DPW	DPSMaster	DPSMaster
AT	Independent Model (Match-AT)	Bundle (Match-AT & Bingo)

### 3.2 자료처리

UltraCamX의 경우 초기영상은 8개의 cone에서 각각 촬영한 영상이므로 사용자가 사용할 수 있는 Panchromatic, RGB 및 CIR 영상으로 전환하기 위해서는 영상의 정합과 방사보정을 할 수 있는 OPC(Office Processing Center)라는 자체 S/W 사용하여 영상을 전처리하였다. 취득된 영상은 Level\_00인 Raw data로부터 최종 사용할 수 있는 Level영상을 생성하였다.

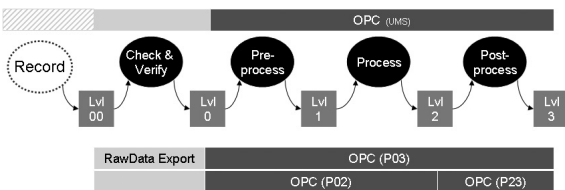


그림 5. UltraCamX의 OPC 작업공정

각각의 영상은 OPC에서 지정된 Level별 단계를 거쳐 사용자가 원하는 최종 영상으로 전환되며 그림 5와 같은

전처리 공정을 거친다.

Level 00에서 Level 2까지는 영상에 대한 방사보정 및 합성에 관한 것이며, 최종적으로 Level 3에서는 사용자가 사용할 수 있도록 각 cone에서 취득한 영상을 방사보정 및 pansharpening, CIR 정합을 수행하여 panchromatic, RGB 및 CIR 영상을 제공한다.

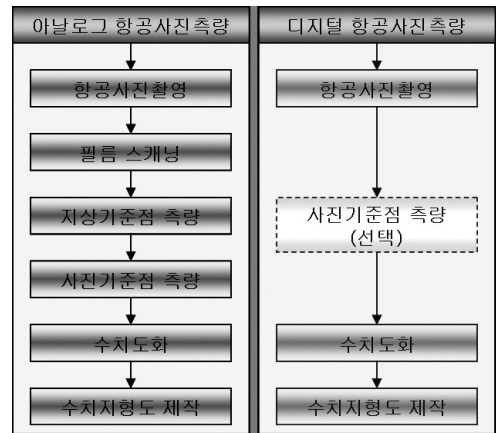


그림 6. 아날로그항공사진측량과 디지털항공사진측량의 작업공정 비교

수치지형도 제작에 소요되는 막대한 비용은 공공기관 및 각급 지방자치단체가 최신 지도제작과 갱신을 추진 하는데 있어서 장애요소로 작용한다. 그림 6와 같이 1/1,000 및 1/5,000 등 수치지형도 제작에 있어서 기존의 아날로그항공사진측량과 디지털항공사진측량의 작업공정 차이점은 디지털카메라를 이용할 경우 아날로그의 스캐닝, GCP측량, 사진기준점측량 공정이 생략 또는 간소화 되어 효율적이고 경제적인 지도제작이 가능하다는 점이다.

## 4. 처리결과 및 분석

### 4.1 사진기준점측량 결과분석

사진기준점측량(AT: Aerial Triangulation)은 아날로그 항공사진측량에서는 전통적인 독립모델법(Independent Model)에 의한 사진기준점측량을 수행하였으며, 디지털 항공사진측량에서는 GPS/IMU 데이터를 이용한 번들조정법(Bundle Adjustment)에 의한 사진기준점측량을 수행하였다.

두 시스템의 기준점 선점 및 정확도는 “항공사진측량 작업내규(국토지리정보원 작업내규 제54조)”에 근거하여 수행하였으며 동일 블록 내의 평면 및 표고의 표준편차는 촬영고도의 0.2%이내, 최대오차가 촬영고도의 0.4%이내로 하였다. (국토지리정보원 2002)

이를 초점거리 150mm인 광학카메라의 필름 및 지도 축척에 따른 범위로 환산하며 표 3과 같다.

표 4. 사진기준점측량의 정확도 기준

Section	Standard Deviation	Max. Bias
AT	0.2%	0.4%
Film Bias	0.03mm	0.06mm
1:1,000 (mapping scale)	± 15cm	± 30cm
1:5,000 (mapping scale)	± 75cm	± 150cm

4.1.1 아날로그항공사진측량

아날로그항공사진측량은 재래식 방법의 사진기준점측량인 Match-AT의 독립모델법을 이용하였다. 독립모델법은 두 장의 사진을 처리하여 일단 하나의 모델을 형성한 후, 이를 기준으로 연속된 다음의 사진을 처리하여 또 다시 하나의 모델을 형성하여 전체 블록에 대해서 사진기준점측량을 하는 방식이다.

따라서 각 모델의 외부표정요소 결정은 모델에서 결정되며 이를 위해 다수의 GCP가 필요하다. 또한 모델의 형성과정에서 발생한 오차를 누적하여 모델의 단계별 처리가 이루어지기 때문에 수학적으로 불안정한 요인을 가지고 있다.

본 연구에서는 이런 요인을 감안하여 아날로그항공사진측량에서는 전체 GCP를 이용하여 사진기준점측량을 수행하여 성과를 도출하였다. 사용된 GCP의 수는 평면 기준점은 34점, 표고기준점은 92점이다. 이는 작업내규에 준하는 기준점의 수로써, 각 모델 당 최소 2점 이상 배치하였다.

아날로그항공사진측량의 독립모델법 정확도를 검증하기 위해 연구대상지내에 평면검사점을 9점, 표고검사점을 23점을 선점하여 GPS측량을 수행하였다. 각각의 검사점은 사진기준점측량의 자료처리결과에 대한 정확도 검증을 위해 사용되었다.

그림 7은 9점의 평면검사점에 대한 평면위치정확도를 도시한 것으로써, 표준편차는 X축에서 11.8cm, Y축에서 13.8cm임을 알 수 있었다. 또한 X축의 최대값은 2번 검사점에서 28.7cm, Y축의 최대값은 7번 검사점에서 33.1cm가 발생하였다.

그림 8은 23점의 표고검사점에 대한 표고정확도를 도시한 것으로써, Z축에 대한 표준편차는 20.9cm이며, 최대값은 51.1cm임을 알 수 있었다.

본 연구의 아날로그항공사진측량은 비행고도 750cm에서 촬영되었다. 따라서 작업규정에 근거한 사진기준점측량의 표준편차는 15cm이내, 최대값은 30cm 이내여야 한다. 따라서 본 연구에 사용된 독립모델법의 평면위치정확도는 대체적으로 만족하였지만 Z축에서는 표준편차 및 최대값을 벗어난 결과였다. 이는 항공사진측량에서 평면정확도가 표고정확도보다 우수한 일반적인 내용을 나타내고 있다.

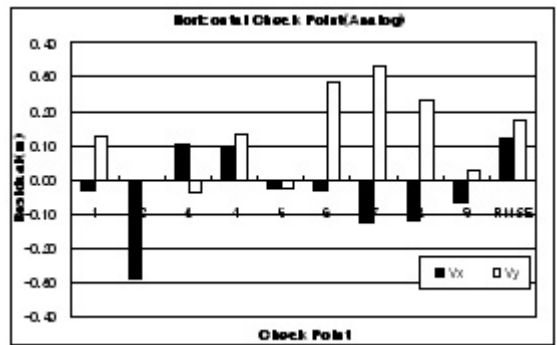


그림 7. 독립모델법에 의한 평면정확도

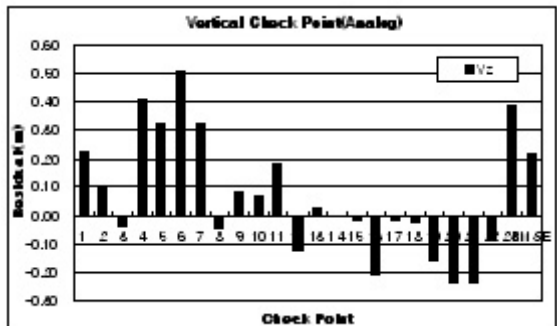


그림 8. 독립모델법에 의한 표고정확도

4.1.2 디지털항공사진측량

변들조정법은 각각의 사진에 대한 모델의 형성과정



없이 전체 블록에 대한 사진좌표와 GCP를 한 번에 입력하여 먼저 상대표정을 한 후 전체 블록에 대하여 절대표정을 행하는 특징이 있다. 따라서 독립모델법과 같이 모델의 형성과정이 없기 때문에 독립모델법에 비해 수학적으로 우수한 것으로 알려져 있다.

또한 번들조정법은 독립모델에 비해 다량의 사진을 처리할 수 있고 조정 시 발생하는 정오차 보정을 위해 부가변수를 사용함으로써 보다 엄밀한 해를 구할 수 있다.

본 연구에서는 UltraCamX 영상을 사용하여 번들조정법인 Bingo를 이용하여 사진기준점측량을 수행하였다. GPS/IMU에 의한 외부표정요소 산출의 최적성을 판단하기 위해 각 GCP의 수를 조절하여 처리하였다.

먼저 전체 GCP(100%)을 이용하여 사진기준점측량을 수행하였으며 점차적으로 75%, 50%, 25%, 7%만을 이용하여 자료를 처리하였다.

분석결과, 블록외곽에 최소의 GCP만을 사용하여도 항공사진측량작업내규를 만족하는 우수한 성과값을 획득하였다. 전통적 독립모델법에서는 평면기준점 34점, 표고기준점 92점을 사용하여도 항공사진측량 작업내규에서 정의한 표준편차 15cm, 최대값 30cm를 만족하기 힘들었지만, GPS/IMU를 탑재한 번들조정법에서는 7점(7%)만을 사용하여도 평면정확도의 표준편차가 5.9cm와 4.2cm 그리고 표고정확도의 표준편차가 7.5cm로 상당히 우수한 결과값을 획득하였다.

그림 9는 X축에 대한 정확도를 나타낸 것으로서 아날로그의 독립모델법에 비해 디지털의 번들조정법이 모두 우수함을 알 수 있었다. 특이점은 50%의 GCP를 이용한 경우에서 7%의 GCP를 이용한 경우보다 정확도가 저하된 현상을 보인다. 이는 불량 GCP를 소거하여 처리하여야 하지만, 불량한 몇 점의 기준점이 전체 정확도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 반대로 7%의 GCP를 이용한 경우 7점의 GCP 성과값이 우수하여 50%의 GCP를 이용한 경우보다 더 좋은 정확도를 확보할 수 있었다.

그림 10은 Y축에 대한 정확도를 도시한 것으로 독립모델법에 비해 아주 우수한 결과값을 획득할 수 있었다. Y축의 정확도는 GCP 수의 변화에 거의 영향을 받지 않았으며 최대값은 10cm 이내, 표준편차는 5cm 이내로 우수한 결과값을 가졌다. 또한 X축과 같은 50%의 GCP에서 저하된 결과값을 가지지 않았다. 이는 GCP의 Y축 성과값이 X축보다 안정적임을 의미한다.

그림 11은 Z축에 대한 정확도를 도시한 것으로서 Y축

과 동일하게 독립모델법보다 우수한 성과값을 가졌으며 안정적인 사진기준점측량이 가능함을 알 수 있었다.

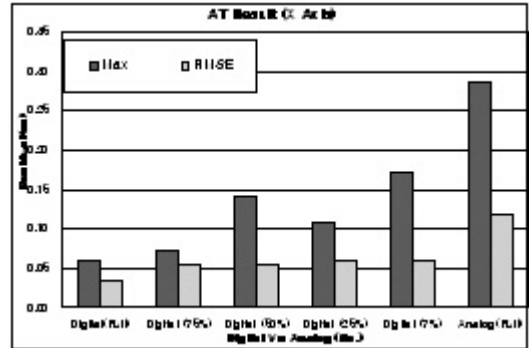


그림 9. 시스템별 X축 정확도

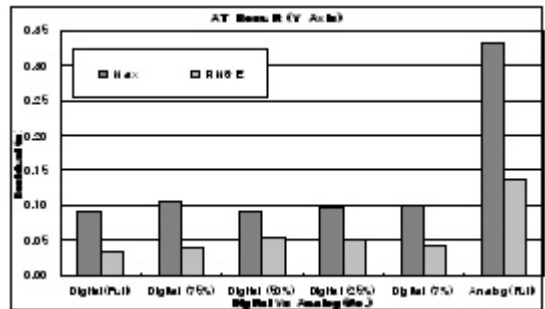


그림 10. 시스템별 Y축 정확도

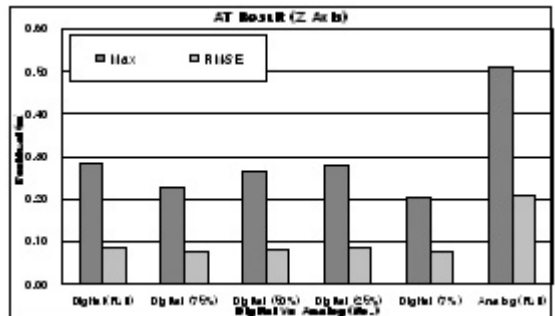


그림 11. 시스템별 Z축 정확도

#### 4.2 블록조정 특성 비교

블록조정 후의 특성을 분석하기 연구대상지를 농경지, 도심지 및 주거지로 구분하여 대상지역별 블록조정 후 잔차량을 산출하였다. 이를 위해 각 대상지역로 평면 검사점 2점씩, 표고검사점 2점씩 총 12점을 선점하여 아날로그 영상에 대한 독립모델법의 블록조정법과 디지털

영상에 대한 번들조정점의 잔차 특성을 분석하였다.

그림 12는 블록조정 후의 잔차 특성을 분석하기 위한 지역으로 좌측하단이 농경지, 우측상단이 도심지, 그리고 좌측상단이 주거지이다.



그림 12. 블록조정 후 잔차 특성 분석을 위한 대상지역별 선정

4.1.1 농경지의 잔차 특성

블록조정 후의 검사점에 대한 잔차 분석을 위해 평면 검사점 2점, 표고검사점 2점을 선점하였다.

농경지에 대한 블록조정 후의 결과값은 아날로그 영상과 디지털영상간의 뚜렷한 차이는 발생하지 않았다. 아날로그 영상에서는 최대 11.5cm의 잔차가 발생하였지

만 디지털영상에서 모두 10cm 이하의 안정적인 결과값을 획득하였다. 하지만, 표고검사점에 있어 아날로그 영상은 19.4cm와 20.4cm의 비교적 높은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 하지만 이는 항공사진측량 내규에 부합되는 안정적인 결과값으로 오차범위에 들어오는 값이다.

디지털 영상은 아날로그 영상에 비해 비교적 안정적인 결과값을 가짐을 알 수 있었다. 평면검사점에 비해 표고검사점의 정확도가 저하하는 현상이 있었으며 이는 항공사진측량의 특성상으로 인해 평면위치정확도가 표고위치정확도보다 우수함을 입증하고 있다. 표 4와 표 5는 블록 조정 후의 농경지의 검사점에 의한 수평 및 수직 잔차량을 나타낸 것이다.

4.1.2 도심지의 잔차 특성

도심지의 블록조정 후 잔차 특성을 분석하기 위해 농경지와 동일하게 항공사진측량시스템별로 평면검사점 2점씩, 표고검사점 2점을 선점하여 비교분석하였다.

도심지에 대한 블록조정 후의 잔차 분석결과, 아날로그 영상에 대비하여 디지털영상의 잔차량이 적음을 알 수 있었다. 아날로그영상의 평면 최대값 약 20cm였지만, 디지털영상은 5cm 정도의 결과값을 획득하였다. 표고검사점은 L25에서 비교적 높은 잔차량이 발생하였지만 이 역시 작업내규의 오차 허용범위를 만족하는 결과값을 보이고 있다.

농경지의 잔차 특성과 비교하면 평면검사점에서 비교적 높은 잔차량을 보이고 있다. 표 6과 표 7은 블록 조정 후의 도심지의 검사점에 의한 평면 및 표고 잔차량을 나타낸 것이다.

4.1.3 주거지의 잔차 특성

마지막으로 주거지에 대한 블록조정 후의 잔차 특성을 분석하였다. 각 촬영시스템별로 동일지역을 대상으로 평면검사점 2점씩, 표고검사점 2점을 선점하였다.

표 4. 농경지의 평면검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	T09	201555.304	395819.833	9.581	201555.239	395819.948	0.000	0.065	-0.115	0.000
	T19	200887.655	393237.029	5.205	200887.720	393236.887	0.000	-0.065	0.142	0.000
Digital	T09	201555.282	395819.991	9.538	201555.279	395819.965	0.000	0.003	0.026	0.000
	T19	200887.593	393237.023	5.634	200887.689	393236.930	0.000	-0.096	0.093	0.000

표 5. 농경지의 표고검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	L09	201555.360	395819.724	9.499	0.000	0.000	9.305	0.000	0.000	0.194
	L19	200887.975	393236.787	5.458	0.000	0.000	5.254	0.000	0.000	0.204
Digital	L09	201555.458	395819.784	9.236	0.000	0.000	9.209	0.000	0.000	0.027
	L19	200887.854	393236.911	5.692	0.000	0.000	5.501	0.000	0.000	0.191

표 6. 도심지의 평면검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	T14	204824.686	394808.868	21.331	204824.485	394808.767	0.000	0.201	0.101	0.000
	T25	206224.855	392649.725	14.642	206224.977	392649.606	0.000	-0.122	0.119	0.000
Digital	T14	204824.556	394808.844	21.733	204824.553	394808.899	0.000	0.003	-0.055	0.000
	T25	206224.908	392649.731	15.016	206224.898	392649.695	0.000	0.010	0.036	0.000

표 7. 도심지의 표고검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	L14	204824.584	394808.892	21.518	0.000	0.000	21.539	0.000	0.000	-0.021
	L25	206225.129	392649.519	14.739	0.000	0.000	14.596	0.000	0.000	0.143
Digital	L14	204824.572	394808.830	21.716	0.000	0.000	21.724	0.000	0.000	-0.008
	L25	206224.921	392649.723	15.015	0.000	0.000	15.141	0.000	0.000	-0.126

표 8. 주거지의 평면검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	T04	204559.414	397428.293	27.155	204559.442	397428.172	0.000	-0.028	0.121	0.000
	T11	203343.221	395799.184	33.219	203343.212	395799.144	0.000	0.009	0.040	0.000
Digital	T04	204559.517	397428.379	27.160	204559.599	397428.293	0.000	-0.082	0.086	0.000
	T11	203343.233	395799.075	32.994	203343.338	395799.153	0.000	-0.105	-0.078	0.000



표 9. 주거지의 표고검사점에 대한 잔차량

Photogrammetry	Point ID	Aerial Triangulation			Check point			Bias		
		X	Y	Z	x	y	z	Vx	Vy	Vz
Analog	L04	204559.450	397428.040	27.320	0.000	0.000	27.137	0.000	0.000	0.183
	L11	203343.224	395799.523	33.142	0.000	0.000	33.215	0.000	0.000	-0.073
Digital	L04	204559.679	397428.135	27.329	0.000	0.000	27.231	0.000	0.000	0.098
	L11	203343.224	395799.067	32.989	0.000	0.000	32.779	0.000	0.000	0.210

블록조정 후의 주거지에 대한 잔차 특성을 분석한 결과, 아날로그영상과 디지털영상간의 비슷한 경향을 보임을 알 수 있었다. 아날로그영상의 최대값은 약 12cm이며 디지털영상의 최대값은 약 10cm임을 알 수 있었다. 표고검사점에서 아날로그와 디지털간의 차이는 거의 없었다.

특히 아날로그영상에서 도심지 평면검사점의 잔차량이 최대로 발생하였는데, 이는 도심지에 대한 스캐닝오차가 포함될 수 있기 때문으로 사료된다.

블록조정 후의 잔차량 분석은 기하학적으로 보정된 영상을 사용자측면에서 실질적인 활용과 정확도를 제공함이 목적이다. 하지만 본 연구에서는 아날로그영상 및 디지털영상에 대한 각각 12점의 적은 검사점으로 잔차량을 분석하였으며 국소적인 지역에 대한 분석을 수행하였다.

하지만 블록조정 후의 대상지에 따른 정확도를 검증하는 실험적 연구에 의의가 있으며 향후 정사영상 제작 및 지도제작 등 실무적인 처리를 위한 사전검증자료로 중요하게 사용될 것으로 판단한다. 이를 위해 폭넓은 적용대상을 선정하여 다양한 경우의 심층연구가 필요하다. 표 8과 표 9는 블록 조정 후의 주거지의 검사점에 의한 수평 및 수직 잔차량을 나타낸 것이다.

농경지, 도심지, 주거지에 대한 블록조정 후 잔차 특성을 분석한 결과, 아날로그영상보다 디지털영상의 정확도가 비교적 우수하였다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 전통적인 아날로그항공사진측량과 디지털항공사진측량의 사진기준점측량 및 블록조정 특성에 대한 비교분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사진기준점측량의 정확도 분석에서는 전통적인 독

립모델법보다 GPS/IMU를 탑재한 번들조정법이 우수하였다.

2. 디지털항공사진측량의 Direct Georeferencing을 이용한 번들조정법에서는 7%인 7점만을 사용하여도 우수한 결과값을 가짐을 알 수 있었다.
3. 블록조정 후 잔차 특성 비교분석에서는 아날로그영상보다 디지털영상의 정확도가 비교적 우수함을 알 수 있었다.

향후 디지털항공사진측량은 지형도제작뿐만 아니라 정사사진제작, 재해 모니터링 등 광범위한 범위에 활용될 것으로 예상된다. 이를 위해 보다 센서별 특성 및 활용목적에 맞는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

삼아항업(주)의 연구용 자료제공에 감사드립니다.

### 참고문헌

국토지리정보원 (2002), 항공사진측량작업내규.  
 박운용, 이강원, 이재원, 정공은 (2004), GPS/INS에 의한 항공사진측량의 블록조정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제 3호, pp. 285-291.  
 이재원 (2005), 사진축척을 고려한 GPS/INS 항공사진측량 블록조정의 정확도 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제 3호, pp. 323-330.  
 정성혁, 이재기 (2008), 디지털 영상자료를 이용한 3D GIS의 사실적 모델링 및 가시화, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 1호, pp. 73-83.  
 한국건설교통기술평가원 (2007), 대축척지도제작용 디지털카메라 실용화방안연구.  
 한상득, 조규전, 이재원 (2004), GPS/INS에 의한 외부표

- 정요소 결정에 관한 경험적 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제 1호, pp. 53-62.
- 황원순, 김감래 (2007), 항공디지털카메라 영상을 이용한 수치지도 갱신, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 6-2호, pp. 635-643.
- Leberl F., M. Gruber, M. Ponticelli, S. Bernögger, R. Perko (2003), The UltraCam Large Format Aerial Digital Camera System, *Proceedings of the ASPRS Annual Convention*, Anchorage USA.
- M.Cramer (2005), Digital airborne camera-Status and future, *Proceeding ISPRS Workshop*.  
<http://www.microsoft.com/ultracam/ultracam/default.msp>.

---

(접수일 2009. 3. 30, 심사일 2009. 4. 9, 심사완료일 2009. 4. 22)