

# 고해상도 디지털항공사진 카메라 도입에 따른 DMC의 3차원 위치결정 정확도 평가

## 3D Positioning Accuracy Estimation of DMC in Compliance with Introducing High Resolution Digital Aerial Camera

함창학<sup>1)</sup> · 장휘정<sup>2)</sup>

Hahm, Chang-Hahk · Chang, Hwi-Jeong

### Abstract

Since aerial photogrammetry by analog camera began in 1972, recently, high resolution digital camera is actively introduced to improve efficiency of aerial photogrammetry. This study investigated the 3D positioning accuracy of DMC(Digital Mapping Camera) among various high resolution aerial digital cameras to be developed for photogrammetry. For the research, we installed control points in test field around Incheon, and acquired analog and digital aerial photographs. By comparing 3D positioning accuracies of analog and digital photographs, there are few difference between two cameras, and the 3D positioning accuracies of two cameras was somewhat increased in case of aerotriangulation using additional control points based on GPS/IMU EO data.

Keywords : High resolution aerial digital camera, DMC, 3D positioning accuracy

### 초 록

1972년 국내에서는 아날로그카메라를 이용하여 항공사진측량을 시작한 이래로 최근에는 항공사진측량의 효율성을 향상시키기 위해서 고해상도 디지털항공사진 카메라의 도입이 적극적으로 추진되고 있다. 본 연구에서는 항공사진측량을 위해 개발된 고해상도 디지털항공사진카메라 중에서 DMC(Digital Mapping Camera) 카메라에 대한 3차원 위치결정의 정확도를 기존의 아날로그카메라와 비교하여 평가하였다. 이를 위해서 인천인근지역에 테스트필드를 선정하고 기준점을 설치한 후 항공사진측량을 수행하였다. 아날로그카메라 및 DMC 카메라 항공사진의 3차원 위치결정의 정확도를 비교한 결과, 정확도에는 큰 차이가 없었으며, GPS/IMU 자료에 기준점을 추가하여 항공삼각측량을 수행한 후 위치결정을 수행했을 경우 정확도가 향상됨을 알 수 있었다.

핵심용어 : 고해상도 항공디지털카메라, DMC, 3차원 위치결정 정확도

## 1. 서 론

지표면은 자연적인 요인과 인간 활동에 의하여 끊임없이 변화하고 있고 이러한 변화를 효과적으로 관측하고 관리하기 위해서 사진측량이 수행되어 왔다. 특히, 최근 들어 인구의 증가와 현대화에 따른 각종 개발계획과 쾌적한 생활공간의 창출을 위한 기초 자료인 항공사진 및 지도의 활용은 점차 증가하고 있다.

19세기 중후반 프랑스에서 시작된 항공사진측량은 20세기 들어와 측량용 카메라의 발달로 대규모 지역의 지도

제작에 있어서 획기적인 발달을 가져왔으며, 이후 지형도 제작을 위해 가장 효율적이고 경제적인 측량기술로서 대부분의 나라에서 이용하고 있다. 우리나라의 경우 1972년 시작된 항공사진촬영은 최근까지 아날로그필름을 기반으로 하는 항공사진측량용 카메라를 사용해 왔으나, 사진의 활용측면에서 촬영된 필름의 보관문제로 인한 필름의 훼손, 변질 등 자료 관리의 어려움, 방대한 자료의 효율적 관리 등에 관한 문제들로 인해 최근에 고해상도 디지털카메라가 적극적으로 도입되고 있다.

디지털 항공카메라는 촬영시간과 경비의 절감, 고정밀

1) 정회원 · 인공공업전문대학 지형공간정보과 교수(E-mail: chhahm@inhac.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 부설 국토모니터링 기술개발 연구센터 연구원(E-mail: hjchang@inhaian.net)

의 영상의 취득, 다양한 활용분야의 창출 및 사진의 수치화 불필요 등의 장점으로 인해 아날로그 항공카메라에 비해 많은 장점들을 가지고 있다. 아날로그카메라 대신에 디지털카메라를 이용하여 항공사진측량을 실시할 경우 필름을 이용하지 않으므로 현상, 자료의 처리비용측면에서 공간·시간적 절감이 가능하며, 또한 필름으로부터 수치영상을 획득하기 위한 스캐닝 작업의 생략이 가능하여 작업오차를 방지할 수 있다. 또한 물리적인 필름이 아닌 수치데이터이므로 컴퓨터에 저장이 가능하여 보관 및 유지관리에도 용이하다. 뿐만 아니라 비행촬영계획부터 자동화된 과정을 거치므로 영상의 품질관리가 용이하며, 보안지역의 검열 등에서도 파일을 영상으로 처리하여 문제지역의 삭제가 간단히 이루어진다. 최근 선진외국에서는 다양한 디지털카메라에 대한 정확도분석을 수행하고 있으며(Kissyar 등, 2008; Passini 등, 2008; Zang 등, 2006), 특히 아날로그카메라와 디지털카메라의 소요경비에 대한 비교실험에서 디지털카메라를 이용할 경우 아날로그카메라와 비교하여 소요되는 필름비용, 처리, 인쇄 및 스캐닝 비용 등 전체비용에서 60%~80%정도의 경비 절감이 가능하다고 발표된바 있다(한국건설기술평가원, 2007).

이러한 경제성과 활용성 등에서 기존의 아날로그카메라에 비해 디지털카메라는 월등한 장점을 가지고 있지만 가격이 고가이고, 특정 모델의 경우 아날로그 카메라에 적용하던 S/W 및 H/W를 그대로 적용할 수 없는 단점이 있다. 하지만 최근 국내의 실정에 적합한 디지털카메라의 검증작업이 이루어지고 있으며(한국건설기술평가원, 2007; 이준형 등, 2008), 이를 바탕으로 국토지리정보원에서는 국내의 항공사진측량을 수행하는 많은 기업들과의 협의 하에 항공사진측량작업내규를 수정하는 작업을 진행하고 있다. 현재 개발되어 전 세계적으로 사용되고 있는 대표적인 항공 디지털 카메라는 Leica Geosystems사에서 개발된 ADS40, Z/I Imaging사에서 개발한 DMC, Vexcel사(Microsoft사)에서 개발한 UltraCAM 등이 있으며, 현재 세 가지 모델 모두 국내 항공사진측량업체에서 도입하여 검증 및 활용하고 있는 상황이다.

본 연구에서는 이러한 상황에서 최근 항공사진촬영용으로 도입되고 있는 여러 종류의 고해상도 항공디지털카메라 중에서 가장 아날로그 카메라와 유사한 기하구조를 가지는 DMC의 3차원 위치결정의 정확도를 평가하고자 하였다. 이를 위해서 인천인근지역에 테스트필드를 설치하고 각각 아날로그 및 디지털카메라로 항공사진을 취득

한 후 GPS/IMU자료와 추가 기준점들을 활용하여 각각의 사진에 대한 평균제곱근오차, 최대오차 및 평균오차를 산출하고 분석하였다.

## 2. DMC 항공디지털카메라의 특성

현재 국내의 항공사진측량 관련업체에서 수치지도제작 등을 위해서 도입한 고해상도 디지털 항공사진카메라는 Leica Geosystems사의 ADS40, Vexcel사의 UltraCAM, 그리고 Z/I Imaging사에서 개발한 멀티헤더방식의 DMC 카메라가 대표적이다.

ADS40은 독일의 DLR(German Aerospace Center)과 Leica Geosystems이 공동으로 개발하였으며 3라인 스캐너 원리를 이용하고 있다. 촬영되는 항공사진은 프레임카메라가 아닌 긴 선형 CCD 배열의 Pushbroom형태의 카메라(Digital Line Camera)를 이용하여 촬영하며, 3개의 흑백영상과 4개의 다중분광 영상을 동시에 취득할 수 있다. ADS40은 전방, 수직, 후방의 3채널을 이용하여 대상지역을 동시에 촬영하므로 취득된 영상의 중복도가 매우 높을 뿐만 아니라 거의 평행으로 투영되기 때문에 사진상에 왜곡이 적다. 반면에 기존의 Leica Geosystems 계열의 RC30 아날로그 필름카메라와 매우 다른 형태의 디지털 카메라로서 프레임 카메라와 기하구조가 달라 기하학적 변환이 보다 복잡해질 수 있고, 따라서 기존의 아날로그에서 적용하던 항공사진측량의 원리를 그대로 적용할 수 없다.

UltraCAM 디지털카메라는 면형배열의 CCD센서를 통해 프레임형태의 영상을 획득하는 지도제작용 항공 디지털카메라로써 오스트리아의 Vexcel 사에 의해 개발되었으며, 최근에는 UltraCAMD 후속모델인 UltraCAMX가 개발되어 판매되고 있다. UltraCAMD 시스템의 카메라 모듈은 8개의 광학 카메라 콘이 평행으로 배치되어 있으며, 총 13개의 프레임 CCD 센서를 사용한다. 8개의 광학 카메라 콘 중, 가운데 일렬로 배치되어 있는 4개의 카메라 콘은 흑백 영상을 획득하며, 좌우로 두 개씩 배치되어 있는 4개의 카메라 콘은 RGB 영상과 근적외선 영상을 획득한다. 흑백 영상을 촬영하는데 사용되는 9개의 프레임 센서는 중 축척의 영상을 획득하며 이를 통해 대축척 흑백 영상을 촬영하게 된다.

DMC는 Z/I Imaging에서 아날로그필름 기반의 항공사진측량을 대체하기 위해서 개발한 것으로 고해상도와 높은 정확도를 제공하는 항공사진측량용 디지털 카메라이다. DMC는 프레임형태의 카메라(Digital Array Camera)로

서 다중모듈로 구성되어 있는 점을 제외하면 기존의 아날로그 카메라와 동일한 기하구조를 가진다. 따라서 아날로그 항공사진에 적용하던 사진측량의 원리를 그대로 적용할 수 있으므로 디지털카메라의 도입에 따른 특별한 하드웨어나 소프트웨어의 변화도 최소화 할 수 있다. 본 연구에서 사용된 DMC의 카메라 특성은 표 1에서 보는 바와 같다.

### 3. 연구 방법

본 연구에서는 최근에 항공사진측량을 위해 도입되고 있는 고해상도 디지털카메라 중에서 DMC의 정확도를 평가하기 위해서 테스트필드를 설치하고, 다음의 4가지 경우에 대하여 정확도 평가를 실시하였다. 또한 GPS/IMU로부터 결정된 외부표정요소에 추가적으로 기준점을 사용

하여 항공삼각측량을 실시함으로써 3차원 위치결정의 정확도 향상 가능성에 대해서도 평가하였다. 4가지의 경우는 아래와 같다.

1. 아날로그카메라(RC30) 항공사진과 GPS/IMU를 활용한 3차원 위치결정
2. 아날로그카메라(RC30) 항공사진과 GPS/IMU 및 기준점을 활용한 3차원 위치결정
3. 디지털카메라(DMC) 항공사진과 GPS/IMU를 활용한 3차원 위치결정
4. 디지털카메라(DMC) 항공사진과 GPS/IMU 및 기준점을 활용한 3차원 위치결정

그림 1은 본 연구의 전체적인 과정을 나타내고 있다.

표 1. DMC카메라의 특성

		종 류	내 용
흑백 센서	Module/Sub-image	초점 거리	120mm
		CCD 크기	12 $\mu$ m
		방사 해상도	12bit
		영상 크기	4,096 pixels $\times$ 7,168 pixels 49.15mm $\times$ 86.02mm
		시야각 ( 행/열 )	약 23 $^{\circ}$ /39 $^{\circ}$
	Virtual image	초점 거리	120mm
		CCD 크기	12 $\mu$ m
		영상 크기	7,680 pixels $\times$ 13,824 pixels 약 95 mm $\times$ 168 mm
		시야각 ( 행/열 )	약 44 $^{\circ}$ /7 $^{\circ}$
다중분광센서	영상 크기	3072 pixels $\times$ 2048 pixels	
	CCD 크기	12 $\mu$ m	
	초점 거리	f=25mm / 1:4.0	
	카메라의 수	4 : Red, Green, Blue, NIR	

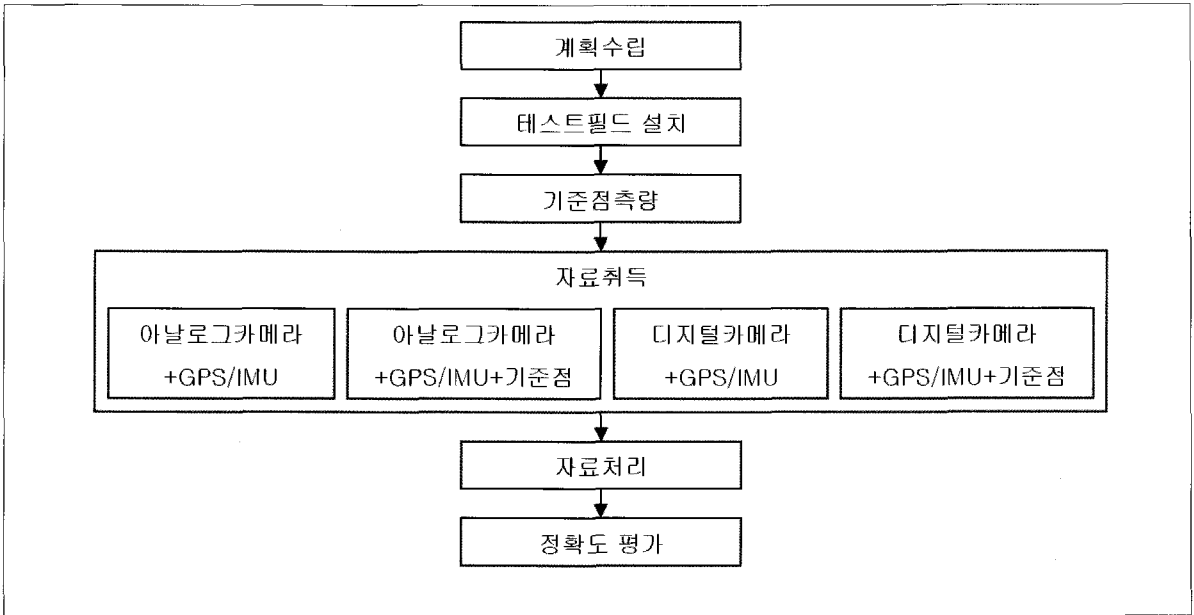


그림 1. 연구과정

#### 4. 실험 및 분석

##### 4.1 대상지역 및 기준점 분포

본 연구를 위한 대상지역으로서 인천광역시 논현동과 경기도 서창동, 신현동을 테스트 필드를 선정하였고, 총 15점의 기준점을 GPS측량(평면 기준점) 및 수준측량(높이 기준점)을 통해 설치하였다. 테스트 필드의 위치, 기준점 및 검사점의 분포는 아래 그림 2와 같다.

##### 4.2 항공사진촬영

아날로그 및 디지털항공사진의 촬영은 각각 2007년 5월 15일과 2008년 11월 30일 촬영하였으며 약 1년 6개월의 시간차를 가진다. 아날로그 항공사진촬영을 위해서 사용된 카메라의 기종은 RC30이고, 디지털카메라는 DMC를 이용하여 촬영하였다. 현재 외부표정요소의 결정을 위해서 항공사진측량용으로 주로 많이 사용되는 GPS/IMU 장비로는 독일 IGI사의 AEROcontrol Kit, 캐나다

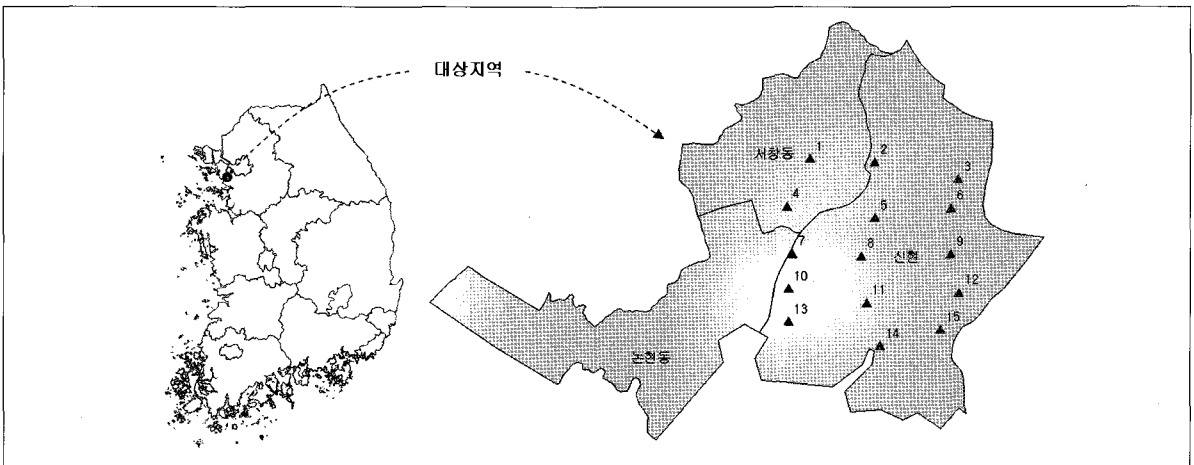


그림 2. 대상지역 및 검사점·기준점(▲) 분포

표 2. GPS/IMU장비의 정확도

	C/A GPS	DGPS	RTK	Post-Processed
Model 510				
Position (m)	4.0 - 6.0	0.5 - 2.0	0.1 - 0.3	0.05 - 0.30
Velocity (m/s)	0.05	0.05	0.01	0.005
Roll & Pitch (deg)	0.008	0.008	0.008	0.005
True Heading1 (deg)	0.070	0.005	0.04	0.008

APPLANIX사의 POS AV kit, 및 Leica사의 IPAS10 등이 있으며, 본 연구에서 사용된 장비는 APPLANIX사의 POS AV kit이다. 사용된 POS AV(Model 510)장비의 정확도는 표 2와 같다.

먼저, 아날로그 항공사진의 취득을 위해서 2007년 5월 15일 비행고도는 800m에서 한 코스당 7매로 하여 4코스로 총 28장의 항공사진을 촬영하였다. 그림 3은 RC30 아날로그카메라를 이용하여 2007년 5월 5일 테스트필드 지역을 촬영한 아날로그 항공사진들이다.

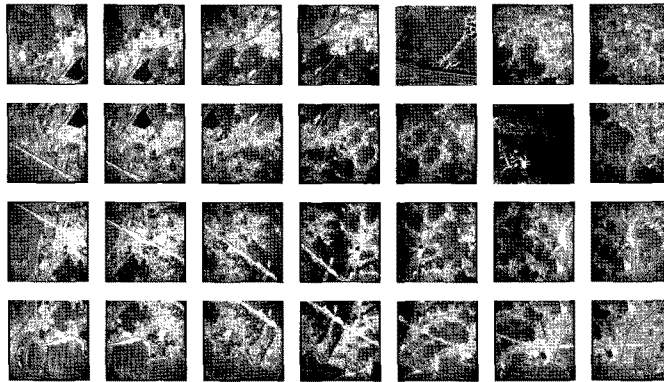


그림 3. 테스트필드를 촬영한 아날로그 항공사진

고해상도 디지털카메라 항공사진은 DMC카메라를 이용하여 촬영고도 1,000m에서 지상해상도 10cm급으로 촬영하였다. 중복도는 진행방향 70%, 코스중복 40%로 설정하였으며 한 코스당 10매, 총 4코스로 촬영하여 총 40매의 고해상도 디지털항공사진을 취득하였다. 촬영당시의 기상사정으로 고고도 촬영은 수행하지 못하였으며, 이륙에서 촬영 및 착륙까지 약 30분 소요되었다. 아래 그림 4는 DMC카메라로 촬영된 디지털카메라 항공사진으로서 영상의 크기는 13,824 × 7,680 픽셀이다.

### 4.3 자료처리 및 정확도 평가

본 연구에서는 GRS 80 타원체를 기준으로 한 TM(Transverse Mercator) 좌표계를 기준으로 자료를 처리하고 정확도를 평가하였다. 정확도 평가는 입체모델을 구성한 후 수동으로 직접 좌표점을 독취하여 계산하였다. 자료처리를 위해서 SOCET SET S/W를 주로 활용하였으며, 그림 5는 디지털항공사진의 번들블록 조정을 수행하는 과정으로서 (a)는 입체모델의 분포, (b)는 기준점의 분포, (c)는 생성된 접합점의 구성을 보여주고 있다. 3차원 위치결정시 서로 다른 입체모델에서 반복적으로 나타나는 점들에 대해서도 모두 3차원 위치결정을 수행하고, 정확도 평가에 활용하였다.

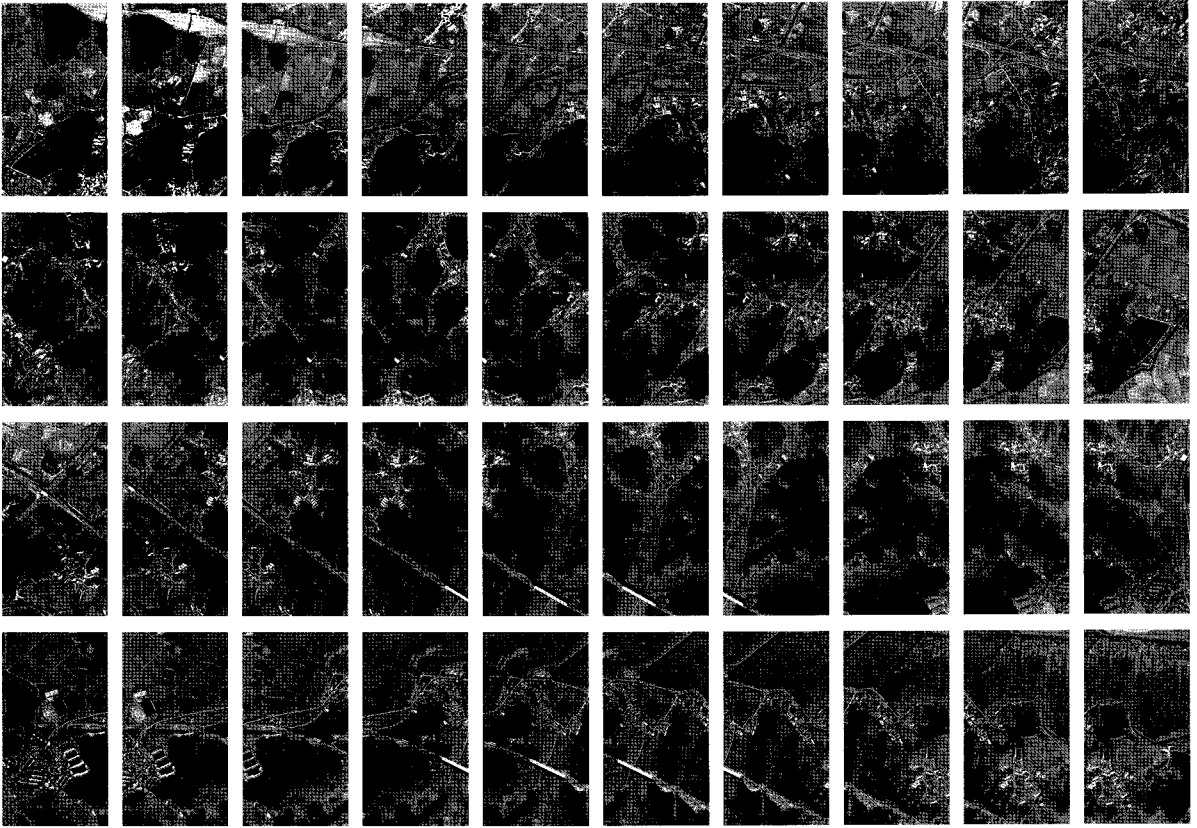


그림 4. 테스트필드를 촬영한 DMC 항공사진

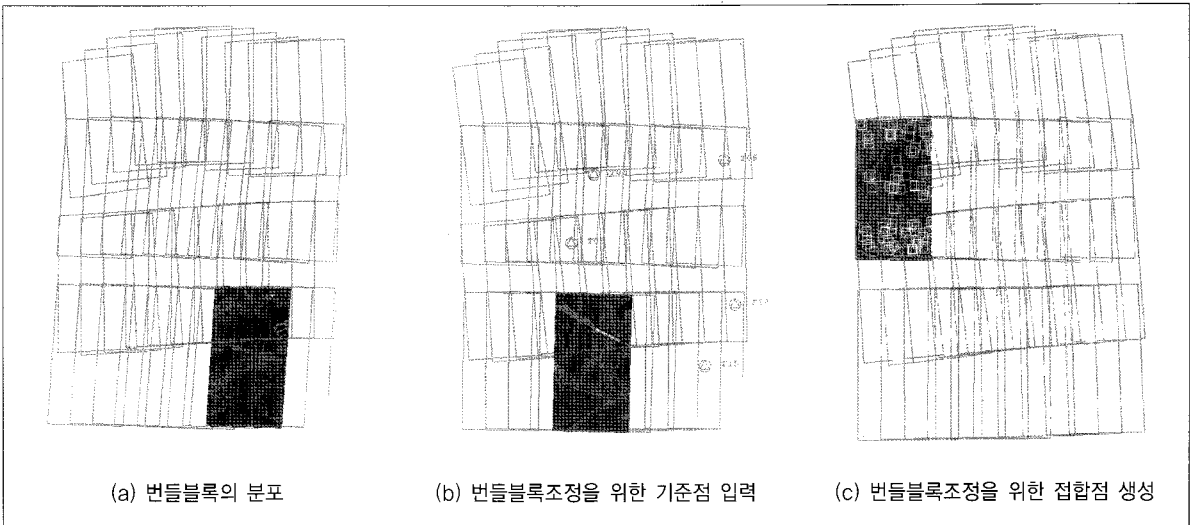


그림 5. 번들블록조정을 위한 기준점 및 접합점(DMC 항공사진의 경우)

표 3은 아날로그항공사진과 GPS/IMU를 사용하여 결정한 외부표정요소로부터 15개의 검사점에 대해서 Direct Georeferencing를 실시하여 3차원 위치를 결정하고 각각의 점들에 대해서 오차를 계산한 결과로서 RMSE가 X방향, Y방향, Z방향으로 각각 18.7cm, 14.7cm, 15.1cm로 나타났다.

표 3. 아날로그 카메라에 GPS/IMU를 장착한 경우

	X 방향(cm)	Y 방향(cm)	Z 방향(cm)
RMSE	18.7	14.7	15.1
최대오차	39.9	31.5	16.6
평균오차	14.9	10.7	10.2

표 4는 아날로그 카메라에 GPS/IMU를 장착하고, 지상 기준점을 추가로 투입하여 항공삼각측량을 통한 외부표정요소의 갱신 후 정확도를 평가한 결과이다. 현재 항공사진측량 작업내규에서는 블록외곽에 촬영 진행방향으로는 2모델마다 1점씩 모델 중복부분에 촬영방향과 직각방향으로는 코스 중복부분마다 1점씩 배치하는 것을 원칙으로 하고 있으며, GPS/IMU 외부표정 요소 값을 이용할 경우에는 블록의 외곽에 우선적으로 배치하되 촬영 진행방향으로 4모델마다 1점, 촬영 직각방향으로 코스 중복 부분마다 1점씩 배치하도록 하고 있다. 표고기준점의 배치는 모델당 4모서리에 4점을 배치하는 것을 원칙으로 하며, GPS/INS 외부표정요소 값을 이용할 경우에는 블록의 외곽을 우선적으로 배치하되 촬영 진행방향으로 4모델 간격으로 1점, 촬영 직각방향으로 코스 중복부분마다 1점씩 배치하도록 하고 있다.

그러나 위의 내용은 아날로그 항공카메라에 대한 규정으로서 디지털 항공카메라의 경우에는 현재 작업규정을 협의 중에 있으며, 본 연구에서는 항공삼각측량의 수행을 위해서 6점의 기준점을 투입하여 GPS/IMU로부터 계산된 외부표정요소를 갱신하였으며, 9개의 검사점에 대한 3차원 위치결정의 정확도는 표 4에서 보는 바와 같다.

표 4. 아날로그카메라에 GPS/IMU를 장착하고 지상기준점을 사용한 경우

	X 방향(cm)	Y 방향(cm)	Z 방향(cm)
RMSE	10.6	8.3	9.4
최대오차	29.8	22.7	41.2
평균오차	10.7	7.9	14.8

표 5는 GPS/IMU로부터 결정된 외부표정요소를 이용하여 Direct Georeferencing를 수행한 결과로서 아날로그 항공사진촬영과 디지털 카메라항공사진촬영사이의 시간차로 인해서 총 15개의 기준점 중에서 5개의 기준점(1번, 4번, 7번, 10번, 13번)이 망실되거나 혹은 촬영 대상영역에서 벗어나는 문제가 발생하여 총 10점의 검사점에 대한 정확도를 평가하였다. 표 5에서 보는 바와 같이 RMSE가 X방향, Y방향, Z방향으로 각각 5.9cm, 10.1cm, 13.1cm로 나타났으며, 아날로그 카메라에 비해 향상된 정확도를 보였다.

표 5. 디지털카메라에 GPS/IMU를 장착한 경우

	X 방향(cm)	Y 방향(cm)	Z 방향(cm)
RMSE	5.9	10.1	13.1
최대오차	21.8	29.2	22.0
평균오차	12.9	9.5	10.8

표 6은 디지털카메라에 GPS/IMU를 장착하고, 지상 기준점을 추가로 투입하여 항공삼각측량을 통한 외부표정요소의 갱신 후 검사점에 대해서 정확도를 평가한 결과이다. 지상기준점 총 10점 중에서 6점을 임의로 선정하여 항공삼각측량에 활용하고 4점을 검사점으로 활용하는 방법을 총 10번을 반복 수행하였으며, 그 결과는 표 6과 같다. 아날로그 카메라의 경우와 마찬가지로 기준점을 추가로 사용하여 외부표정요소를 갱신했을 경우 세 방향 모두 약 3cm-8cm의 정확도가 향상되는 것으로 나타났다.

표 6. 아날로그카메라에 GPS/IMU를 장착하고 지상기준점을 사용한 경우

	X 방향(cm)	Y 방향(cm)	Z 방향(cm)
RMSE	3.0	3.8	5.0
최대오차	11.8	19.2	12.0
평균오차	6.9	6.5	8.8

아래 그림 6은 아날로그 및 DMC 항공사진과 GPS/IMU 자료 및 기준점을 활용하여 입체모델을 구성하고, 이를 기반으로 수치정사영상(아날로그 28장, DMC 40장)을 생성하여 모자이크한 것으로서 각각의 수치정사영상이 정확히 일치함을 알 수 있다.

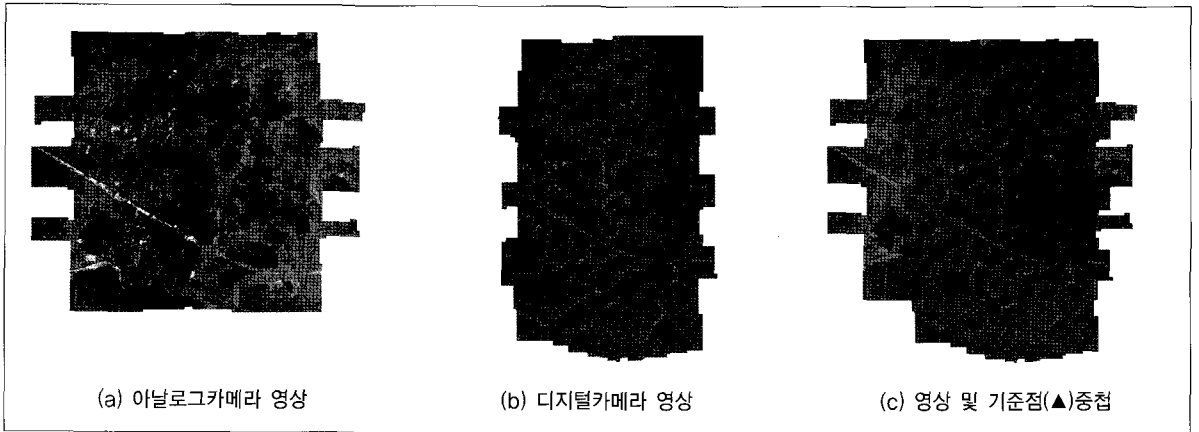


그림 6. 수치정사영상

### 5. 결론

### 감사의 글

본 연구에서는 최근 항공사진촬영용으로 도입되고 있는 여러 종류의 고해상도 항공디지털카메라 중에서 가장 아날로그 카메라와 유사한 기하구조를 가지는 DMC의 3차원 위치결정 정확도를 평가하였다. 이를 위해서 인천인근지역에 테스트필드를 설치하고 각각 아날로그 및 디지털카메라 항공사진에 대해서 GPS/IMU자료만을 이용했을 경우와 추가 기준점을 투입했을 경우로 구분하여 정확도를 비교·평가하였다.

그 결과 첫째, GPS/IMU 자료만을 활용했을 때 아날로그 항공사진의 3차원 위치결정 RMSE는 X방향, Y방향, Z방향으로 각각 18.7cm, 14.7cm, 15.1cm, DMC 카메라 항공사진은 5.9cm, 10.1cm, 13.1cm로서 DMC 카메라의 정확도가 우수한 경향을 보였다. 둘째, GPS/IMU 자료와 기준점을 활용하여 항공삼각측량을 수행했을 경우 아날로그 카메라의 RMSE는 10.6cm, 8.3cm, 9.7cm, DMC 카메라의 RMSE는 3.0cm, 3.8cm, 5.0cm를 보였으며, 추가적인 기준점을 사용하여 항공삼각측량을 수행할 경우에 정확도가 향상됨을 알 수 있었다. 마지막으로, 본 연구에서 아날로그 및 디지털카메라 항공사진의 정확도를 비교·평가를 수행한 결과 정확도 및 기술적 측면에서 두 카메라는 큰 차이가 없었으며, 기준점을 사용했을 경우에 정확도는 증가함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 대상지역이 평탄한 지역으로서 추후 다양한 고도를 가지는 지역에 대해서(산악지역, 도심지역, 구릉지 등) 많은 기준점 및 검사점을 기초로 기준점분포 및 개수에 따른 정확도 분석이 추가적으로 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 2007학년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구 되었으며, 정확도 평가를 위해 자료를 협조해 주신 (주)아세아항공측에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 이준혁, 이영진 (2008), ADS40에 의한 수치정사영상 생성, **한국GIS학회지**, 16권, 3호, pp. 317~331.
- 한국건설기술평가원 (2007), **대축척지도제작용 디지털 카메라 실용화 방안 최종보고서**, 연구보고서.
- Kissiyar, O., Vanderstraete, T., Kroon, R., Verbeke, B. (2008), Digital Cameras for A Photogrammetric Production Environment: A Test of The Geometric Stability and Accuracy", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, pp.677~679.
- Passini, R., Jacobsen, K. (2008), Geometric Analysis on Digital Photogrammetric Cameras, *ASPRS 2008 Annual Conference*, CD-ROM.
- Zang, L., Kocaman, S., Akca, D., Kornus, W., Baltsavias, E. (2006), Tests and Performance Evaluation of DMC Images and New Methods for Their Processing, *ISPRS Commission I Symposium 2006*, CD-ROM.

(접수일 2009. 02. 06, 심사일 2009. 02. 19, 심사완료일 2009. 02. 24)