

다각사진촬영시스템 프로토타입 개발

Development of a Multi-View Camera System Prototype

박선동¹⁾ · 서상일²⁾ · 윤동진³⁾ · 신진수⁴⁾ · 이창노⁵⁾

Park, Seon Dong · Seo, Sang Il · Yoon, Dong Jin · Shin, Jin Soo · Lee, Chang No

Abstract

Due to the recent rise of a need for 3 dimensional geospatial information on urban areas, general interest in aerial multi-view cameras has been on an increase.

The conventional geospatial information system depends solely upon vertical images, while the multi-view camera is capable of taking both vertical and oblique images taken from multiple directions, thus making it easier for the user to interpret the object.

Through our research we developed a prototype of a multi-view camera system that includes a camera system, GPS/INS, a flight management system, and a control system. We also studied and experimented with the camera viewing angles, the synchronization of image capture, the exposure delay, the data storage that must be considered for the development of the multi-view camera system.

Keywords : Oblique Image, Multi-view Camera System, GPS/INS, Synchronization

초 록

최근 도시의 3차원 공간정보에 대한 필요성이 증가함에 따라 연직사진과 경사사진을 동시에 촬영하는 항공 다각카메라에 대한 관심이 높아지고 있다. 기존의 지형공간정보는 주로 연직사진에 의존하지만 다각 카메라는 연직사진 뿐 아니라 사방에서 촬영된 경사사진도 함께 이용하므로 사용자가 대상을 쉽게 판독할 수 있게 한다.

본 연구에서는 카메라시스템, GPS/INS, 촬영안내시스템, 제어시스템으로 구성된 다각사진촬영시스템 프로토타입을 개발하고, 실제 항공촬영에 통해 장비개발 시 고려해야 할 카메라 설치 각도, 동시촬영, 촬영시간 지연, 저장 등에 대해 실험하였다.

핵심어 : 경사사진, 다각사진촬영시스템, GPS/INS, 동시촬영

1. 서 론

일반적으로 GIS에서 지형분석 및 활용을 위해 주로 수치지형도 및 정사영상이 사용되고, 정사영상 제작을 위해서는 항공사진 및 고해상도 위성영상을 이용하였다. 하지만 일반사용자 모두가 쉽게 정사영상을 판독할 수 있는 건 아니다. 이에 반해 경사사진은 누구나 쉽고

빠르게 대상을 판단할 수 있고, 무허가 건물 단속을 포함한 도시관리의 효율성 제고 및 고층건물 화재, 사고 발생 시 현장 건물의 외벽정보를 입체적으로 제공하여 치안, 화재, 구조 등 응급상황에 대처하기 위한 신속하고 효율적인 대응 조치 지원과 같은 공공의 목적으로도 사용될 수 있다. 또한 다중 경사사진은 유비쿼터스 시대에 부합하는 정확하고 입체적인 3차원 모델 Texture

1) 정희원 · (주)범아엔지니어링 국토정보시스템 연구소 수석연구원(E-mail:sdpark@panasia.co.kr)

2) 정희원 · (주)범아엔지니어링 국토정보시스템 연구소 주임연구원(E-mail:ssi760@panasia.co.kr)

3) (주)범아엔지니어링 국토정보시스템 연구소 주임연구원(E-mail:jini0040@panasia.co.kr)

4) (주)지에스엠솔루션 솔루션사업팀 팀장(E-mail:jsshin@gsm solutions.co.kr)

5) 교신저자 · 정희원 · 서울산업대학교 건설공학과 조교수(E-mail:changno@snut.ac.kr)

Mapping, 3차원 도시모델 구축에도 사용되며, 3차원공간정보구축사업에서 기존에 구축된 3차원 모델보다 현실감 있는 모델을 구축할 수 있다(Grenzdörffer 등, 2008). 이미 해외에서는 도심지 3차원 모델 구축을 위하여 경사사진촬영시스템을 개발하여 사용 중에 있으며(Wang 등, 2008), 국내에서도 경사사진촬영을 위한 다각사진촬영시스템을 개발 중에 있다. 다각사진촬영시스템은 여러 개의 중해상도 디지털 카메라로 연직방향, 비행방향의 전후, 좌우를 동시에 촬영하여 1개의 지점에 대해 1개의 연직사진과 4개의 경사사진으로 구성된 디지털 항공사진을 제공하므로써, 연직방향으로 촬영된 일반 항공사진에 비해 건물의 벽면이 많이 보이므로 일반 인들도 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다(Jacobsen, 2008). 본 연구에서는 다각사진촬영시스템 개발을 위해 측정용 및 비측정용 카메라와 GPS/INS, 저장시스템, 제어시스템, 촬영안내시스템 등 다양한 장비구성을 통한 단위테스트를 수행하여 그 활용성 및 성과에 대하여 분석하고, 장비 개발시 고려해야할 카메라 설치 각도, 촬영고도, 동시촬영, 촬영시간지연, 저장등 주요요소를 도출한다. 또한 경사사진 촬영을 위한 현장테스트를 통하여 촬영에 대한 설계요소 및 경사각에 따른 영상의 비교 분석, 향후 Direct Geo-referencing을 위해 Boresight calibration에 대하여 분석하였다.

2. 다각사진촬영시스템 프로토타입

2.1 다각사진촬영시스템 프로토타입 구성

다각사진촬영시스템 프로토타입의 주요 구성요소는 크게 카메라시스템, GPS/INS, 촬영안내시스템, 제어시스템으로 구분된다. 카메라시스템은 수직방향 카메라 1대 경사방향 카메라 4대 총 5대의 카메라로 구성하였으며, 촬영된 영상의 3차원 위치와 자세정보 취득을 위한 GPS/INS 시스템은 Leica Geosystem사의 IPAS20, 촬영데이터 저장을 위한 저장시스템 및 촬영설계 및 촬영을 위한 촬영안내시스템과 GPS/INS 시스템과의 시간동기화 및 5대 카메라 동시촬영을 위한 제어시스템이 있으며 전체시스템 구성도는 그림 1과 같다.

다각사진촬영시스템의 핵심기술인 카메라부분은 총 5대의 카메라로 구성되며, 수직사진 촬영용 카메라는 측정용 카메라 Rollei AIC P20 1대와 경사사진 촬영용 카메라는 비측정용 Unibrain Fire-i810 모델 1대, Scorpion SCOR-20SO 모델 3대를 이용하였으며, Camera Calibration 통하여 촬영을 수행하였다. 자세한 카메라 사양은 표 1과 같다.

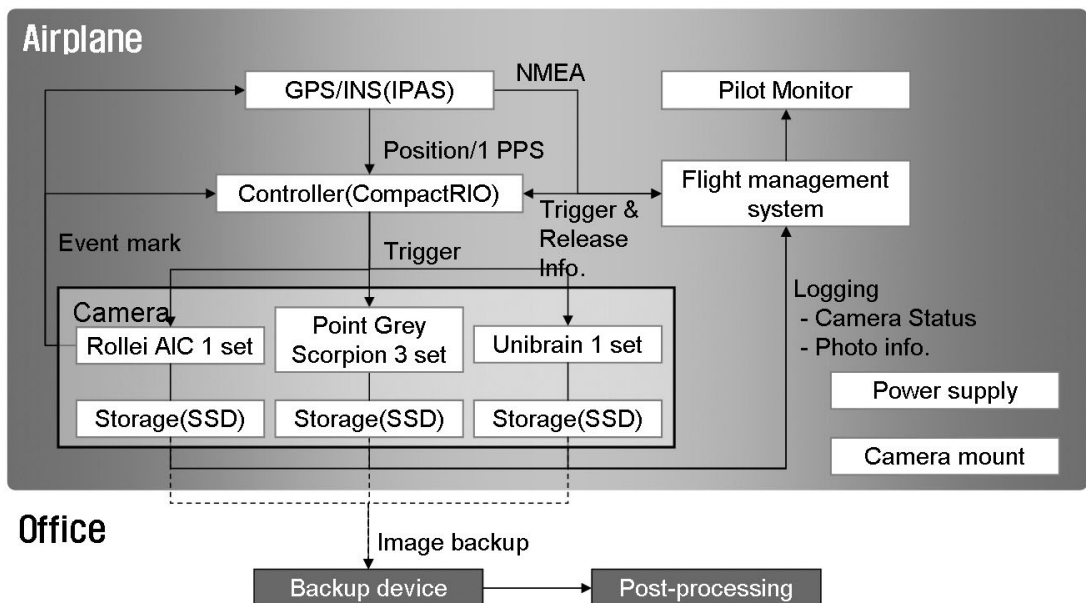


그림 1. 다각사진촬영시스템 프로토타입 전체구성도

항공기내부 설치

MLCC 설치

카메라 설치 (상단)

카메라 설치 (하단)

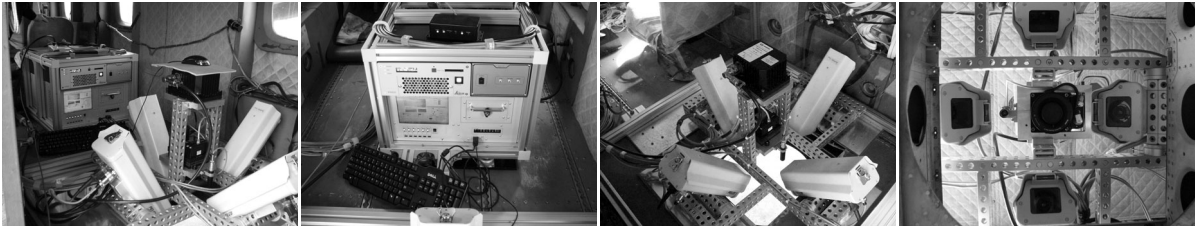


그림 2. 다각사진촬영시스템 프로토타입 항공기내 설치

표 1. 다각사진촬영시스템 카메라 사양

카메라 종류	갯수	초점거리 (mm)	CCD 배열	화소 크기 (μm)	비 고
Rollei AIC P20	1EA	72	4080×4076	9	shutter speed 1/1,000 sec
unibrain Fire-i810	1EA	16	1600×1200	4.6	촬영간격 15fps
Scorpion SCOR-20SO	3EA	16	1600×1200	4.4	촬영간격 15fps

본 연구에서는 5대의 카메라를 이용하여 그림 3와 같이 수직방향카메라 및 경사방향카메라를 구성하고, 각 카메라의 촬영방향은 1번카메라는 후면, 2번카메라는 오른쪽, 3번카메라는 전면, 4번카메라는 왼쪽, 5번카메라가 연직방향 촬영하며, 1번카메라의 경우 전면에 설치되어 있지만 촬영방향은 설치각도에 의해 후면을 촬영하게 되며 나머지 경사방향 카메라도 동일하게 구성되었다. 또한, 전면방향을 촬영 진행방향으로 구성하였다.

또한 프로토타입 개발시 카메라 설치는 촬영된 영상의 촬영영역, 해상도 및 다양한 카메라 각도 등을 확인하기 위하여 가변형 마운트를 이용하여 경사촬영카메라의 촬영방향 전면과 오른쪽은 30도로 후면과 왼쪽방향 카메라는 45도로 장착하였다. 자세한 카메라별 설치 내용은 표 2와 같다.

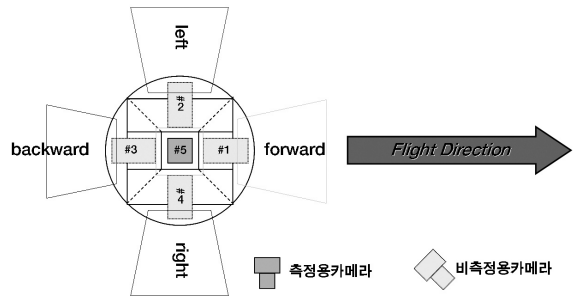


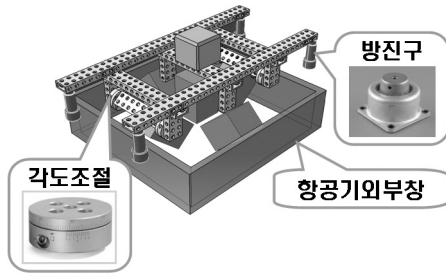
그림 3. 카메라시스템 구성 및 촬영방향

카메라 가변형 마운트는 수직 및 경사방향 카메라를 다양한 회전각 적용이 가능하도록 설계되었고, 정밀 가공된 홀을 이용하여 카메라의 위치이동이 가능하다. 또한 항공기를 이용한 촬영의 경우 엔진의 진동이나 기류

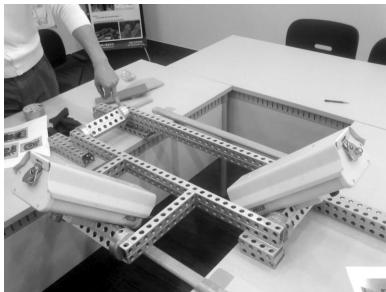
표 2. 다각사진촬영시스템 카메라 설치

구분	카메라 종류	ID	촬영방향	카메라 설치 각도(degrees)
연직	Rollei AIC P20	#5	Nadir	0
경사	unibrain Fire-i810	#1	Backward	30
		#2	Right	30
	Scorpion SCOR-20SO	#3	Forward	45
		#4	Left	45

등으로 인해 촬영시스템에 진동이 전달되어 진다. 이와 같은 진동이 지속적으로 장비에 영향을 줄 경우 케이블의 이탈이나 저장장치, 렌즈 등의 물리적인 기계장치에 치명적인 손상을 입힐 수 있다. 따라서 카메라의 진동을 최소화 하기위해 항공기용 라이다시스템에서 주로 사용되는 방진구(Suspension, Damper)를 그림 4과 같이 설치하였다.



가변형 마운트 구성



카메라 설치

그림 4. 가변형 마운트 구성 및 카메라 설치

현재 제작된 마운트는 중앙의 연직카메라위에 IMU를 장착할 수 있으며, 회전 각도를 정확히 조절할 수 있도록, 회전부품에 눈금이 새겨져 있다. 또한 4개의 다리에 방진구가 장착되고 다리 길이를 조절하여 카메라의 높

이를 조절할 수 있다.

GPS/INS 시스템은 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System)를 결합시킴으로써 각 시스템이 가지는 단점은 보완하고 장점을 증대시키는 역할을 한다. 본 연구에서는 이동체의 위치, 속도, 가속도, 자세(Roll, Pitch, Heading) 등의 자료를 취득한 뒤 후처리를 통해 수직촬영된 영상이 취득된 시점의 3차원 위치와 자세정보를 취득하는데 사용된다.

제어시스템은 각각의 카메라를 독립적으로 제어하도록 개발하였고 GPS Time과 동기화를 수행하여 촬영지시 신호 송신 및 촬영완료신호 수신 등 시스템의 촬영정보를 제공한다. 다각사진촬영시스템은 장비 특성상 5대의 카메라에 동시 촬영명령을 내려야하는데 이때 동기화장비가 사용된다. 동기화장비는 GPS 수신기로부터 받은 GPS Time을 이용하여 PPS(Pulse per Second) 시그널에 대한 동기화를 수행하며(Grenzdörffer 등, 2008), 동기화 여부를 확인하기 위해서 Applanix POS-LV장비와 IPAS20을 이용하여 동기화 테스트를 수행하고 Rollei AIC P20의 촬영신호를 분기하여 GPS/INS와의 동기화 장비에서 동시에 수신하였다.

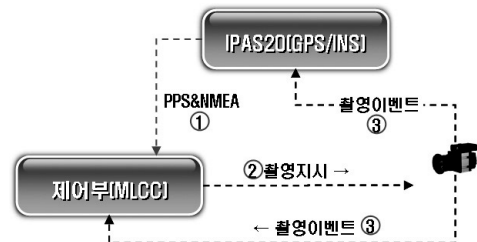


그림 5. Exposure Delay 테스트 방법

테스트 결과 표 4와 같이 POS-LV와 IPAS20 장비 둘 다 UTC offset과 일치하는 차이를 보였고, IPAS20 장비는 PPS와 NMEA(The National Marine Electronics

표 3. IPAS20 GPS/INS 주요장비사양

	Position	Velocity	Roll&Pitch	Heading
Absolute accuracy after post-processing (RMS)	0.05 - 0.3m	0.005 m/s	0.005 deg	0.008 deg
IMU	IMU type : NUS5, 500Hz Dry-tuned Gyro			
GNSS receiver	54-channel GPS+GLONASS dual frequency low noise receiver(L1/L2), 20Hz raw data, DGPS			

Association) 메시지 송신 순서의 차이로 인해 1초가 추가되었으며, 0.001초 PPS신호의 길이 차이가 나타났다. 두 경우 표준편차를 확인한 결과 목표정밀도인 1/10,000초에 만족하는 결과를 얻었다. 또한 제어시스템은 Exposure Delay를 고려해야 하는데, 송신한 촬영신호와 카메라에서 수신한 촬영 Event 시간지연에 대하여 그림 5와 같이 테스트하였다.

표 4. 동기화 테스트 결과

동기화된 장비	POS-LV	IPAS20
도차이값(초)	14.00000503	15.00100273
표준편차(초)	0.000003755	0.0000047086

테스트 결과 표 5과 같이 최초노출을 제외할 경우 일정시간 지연특성이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 실제 촬영시 원하는 지점에서 정확히 촬영하기 위해서 촬영 지시에 대한 0.3초 오차를 고려해야한다.

다각사진촬영시스템은 중형 CCD 또는 소형 CCD 카메라를 사용하여 촬영하므로, 촬영면적이 넓지 않다. 따라서 중복도 및 3차원 기반의 촬영계획을 면밀히 수립하여, 촬영계획에 따라 촬영을 수행하여야 한다.

다각사진촬영안내시스템은 GPS로부터 NMEA Message를 수신하여 현재 항공기의 위치를 화면에 표시하고, 조종사에게 배경데이터 및 운항정보를 제공한다. 또한 다각사진촬영카메라 제어시스템에 계획된 촬영코스 및 촬영지점에서 자동으로 촬영할 수 있는 기능을 구현하였다.

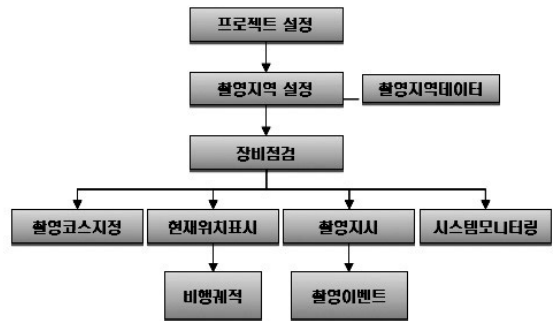


그림 6. 다각촬영시스템 구성도 및 작업 흐름도

다각사진촬영안내시스템은 자동촬영인 경우, 촬영사가 현재 촬영하고자 하는 촬영코스를 선택하고 항공기의 방향과 촬영코스 방향이 일치하는지 여부를 판단한다. 이러한 조건이 만족하는 경우 촬영코스에 대하여 일정크기의 버퍼를 생성하여 연속적으로 몇 개의 GPS 위치가 정해진 버퍼에 존재 여부를 파악하여 코스에 진입하였는지를 판단한다.

표 5. Exposure Delay 테스트결과

회수	촬영지시	촬영시각	차이(1)	평균(2)	(1)-(2)
1	55457.898620	55458.190098	0.291478	0.302945	-0.011467
2	55722.401840	55722.705008	0.303168	0.302945	0.000223
3	55738.480870	55738.784026	0.303156	0.302945	0.000211
:					
48	60238.176360	60238.479528	0.303168	0.302945	0.000223
49	60241.674370	60241.977552	0.303182	0.302945	0.000237
50	60246.882370	60247.185540	0.303170	0.302945	0.000225
최초노출포함		평 균	0.302945	표준편차	0.001655
최초노출제외			0.303179		0.000008

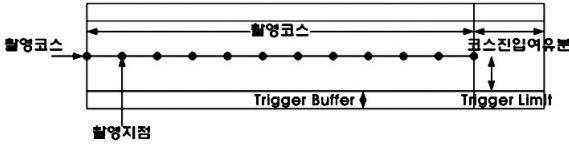


그림 7. 촬영코스 적합성 여부 판단

촬영코스에서 성공적으로 진입한 경우, 계획된 촬영점에 대하여 촬영코스에서 직각인 촬영지시선을 가상으로 선정하여 항공기가 촬영지시선에 대하여 시간도달거리가 일정 범위에 도달하였을 때 촬영을 지시한다.

2.2 비측정용 카메라 캘리브레이션

비측정용 카메라 캘리브레이션은 경사사진 카메라의 내부표정요소를 계산하는 과정이다. 비측정용 카메라의 내부 표정요소로는 초점거리(c), 주점이동량(x_0, y_0), 방사왜곡계수(k_1)의 네 인자로 어느 정도 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 또한 캘리브레이션 사이트 구성과 관련해서는 수렴각도가 큰 두 장 이상의 영상을 사용하고, 지상 기준점을 3차원으로 구성하는 것이 결과 정확도 향상에 영향을 미치는 것으로 연구된 바 있다(Gruen 등, 1992; 오재홍 등, 2006).

본 연구에서는 경사사진용 카메라에 대해 초점거리(c), 주점이동량(x_0, y_0), 방사왜곡계수(k_1)의 네 인자를 내부표정요소로 고려하였으며, 셀프 캘리브레이션 번들 조정을 위해 아래 식 (1)과 같이 공선조건식을 구성하였다(Mikhail 등, 2001).

$$x - x_0 + \Delta x_r = -c \frac{U}{W}, \quad y - y_0 + \Delta y_r = -c \frac{V}{W} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix}$$

$$\Delta x_r = K_1 (x - x_0) r^2$$

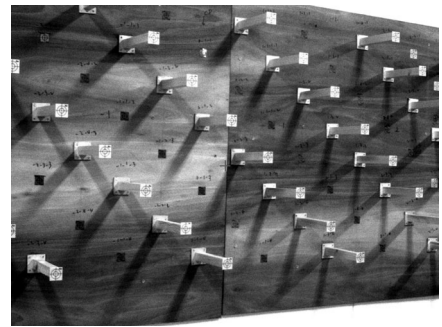
$$\Delta y_r = K_1 (y - y_0) r^2$$

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$$

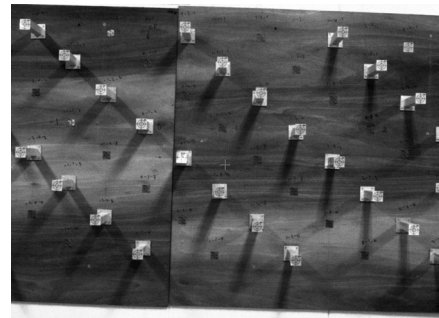
여기서 x, y 는 사진좌표, x_0, y_0 는 주점이동량, $\Delta x_r, \Delta y_r$ 는 방사왜곡 보정량 그리고 c 는 초점거리이다. 또한, X, Y, Z 는 지상 좌표, X_L, Y_L, Z_L 는 카메라 투영 중심의 지상좌표 그리고 M 은 지상좌표계에서 영상좌표계로의 회전행렬이다.

캘리브레이션을 위해 실험실 벽면에 약 15cm 간격으로 설치된 약 40개의 타겟을 사용하였으며, 그 중 50%는 20cm 높이로, 나머지는 0cm 높이로 벽면에 토탈스테이션용 타겟을 부착하였다. 타겟의 3차원 좌표는 고정밀 토탈스테이션을 사용하여 측정하였으며 측정정확도는 약 0.1mm 정도였다.

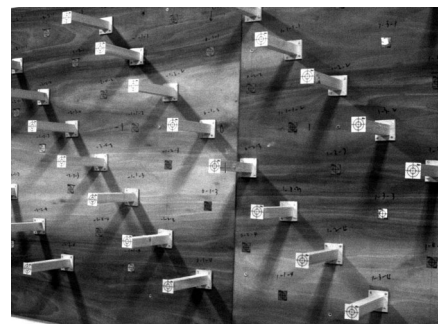
카메라 캘리브레이션을 위해 타겟이 설치된 벽면에서 약 3-4m정도 떨어진 3지점에서 타겟이 부착된 벽면에 대해 서로 수렴하도록 촬영되었다(그림 8). 또한 각 지점에서 다시 수직방향으로 카메라를 세운 후 촬영하였다. 이와 같은 방법으로 각 카메라에 대해 6장의 사진이 얻



Left (-27°)



Center (0°)



Right (27°)

그림 8. 비측정용 카메라 촬영결과

어졌으며, 22개의 기준점과 15~17개의 검사점이 캘리브레이션 정확도 평가를 위해 사용되었다.

번들조정에 의한 내부표정요소는 표 7과 같으며, 검사점에 의한 계산된 사진좌표와 직접 사진에서 측정된 사진좌표의 차이로부터 각 카메라 대한 평균제곱근 오차(RMSE)가 계산되었다(표 6). 계산된 평균제곱근 오차는 x좌표와 y좌표에 대해 각각 0.4~0.5픽셀 이었다. 표 8의 내부표정요소 중 카메라 1과 카메라 3에 대한 y_0 가 x_0 에 비해서 큰 값이 나왔으나 y_0 의 표준오차는 6픽셀 정도로 x_0 의 표준오차(약 5픽셀)에 비해서 큰 차이가 없었다.

표 6. 검사점에 의한 RMSE 결과

사용카메라		검사점의 RMSE (픽셀)		
		x	y	d
unibrain Fire-i810	#1	0.38	0.46	0.60
Scorpion SCOR-20SO	#2	0.41	0.41	0.58
	#3	0.43	0.44	0.61
	#4	0.46	0.47	0.66

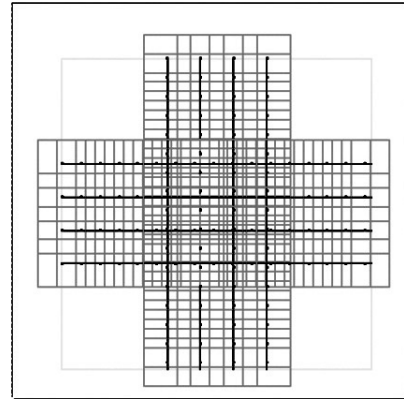
표 7. 비측정용 카메라 캘리브레이션 결과

Camera	c (mm)	x_0 (pixel)	y_0 (pixel)	kl (/mm ²)	
unibrain Fire-i810	#1	16.9439	-6.4	-69.7	0.000564871
Scorpion SCOR-20SO	#2	16.2538	14.2	-11.8	0.000603684
	#3	16.1646	-11.4	-31.8	0.000656917
	#4	16.1810	6.1	16.8	0.000623214

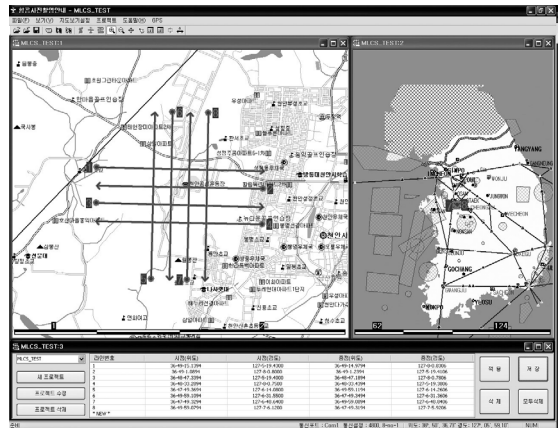
3. 현장테스트

3.1 촬영설계(Flight planning)

다각사진촬영시스템의 촬영 설계시 가장 중요한 취득 목표지상해상도는 수직사진촬영카메라인 Rollei AIC P20 모델의 안정적인 촬영간격을 고려하여 촬영고도 1000m에 중중복도 60%로 하여 지상해상도 12cm 급으로 설계하였다. 그리고 코스별로 다양한 각도 분석을 위하여 전면과 좌측 촬영은 45도, 후면과 우측촬영은 30도로 설치하여 각각의 촬영영역 및 지상해상도를 설계하였다(그림 9).



촬영설계(수직사진 기준)



촬영안내시스템상 설계화면

그림 9. 촬영설계 내용 및 촬영안내시스템상 설계화면

그림 10은 수직사진 촬영용 카메라의 촬영영역과 경사사진의 촬영영역을 설계한 것이다. 경사사진의 경우에는 12mm를 렌즈를 이용했을 때 촬영각 45도에서의 촬영영역과 촬영각, 그리고 16mm 렌즈를 이용하였을 때 촬영각 30도, 45도에서의 촬영영역 나타냈다.

그림 10에서와 같이 12mm 렌즈를 사용할 경우 촬영범위는 넓으나, 지상해상도가 저하되고, 수직사진 주점과 경사사진 주점간 거리도 긴것을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서는 12mm보다 좀 더 긴 16mm렌즈를 사용하여 전체적인 지상해상도를 향상시켰다. 자세한 촬영설계 내역은 표 9와 같다.

표 8. 5대 카메라 촬영설계 내역(촬영고도 1000m)

촬영방향		연직	전면	왼쪽	오른쪽	후면
렌즈 초점거리	mm	72	16	16	16	16
카메라 설치각도	degree	0	45	45	30	30
GSD (min)	m	0.125	0.346769	0.333827	0.289924	0.289924
GSD (avg)	m		0.406586	0.388909	0.317543	0.317543
GSD (max)	m		0.491343	0.465759	0.350978	0.350978
Distance (min)	m	-	705.7569	716.7382	376.4852	376.4852
Distance (avg)*	m		1000	1000	577.3503	577.3503
Distance (max)	m		1416.918	1395.21	820.5148	820.5148
촬영각격 (중중복:60% 경우)	sec/f	3.05	-	-	-	-

*연직사진 주점으로부터 경사사진 주점까지의 거리

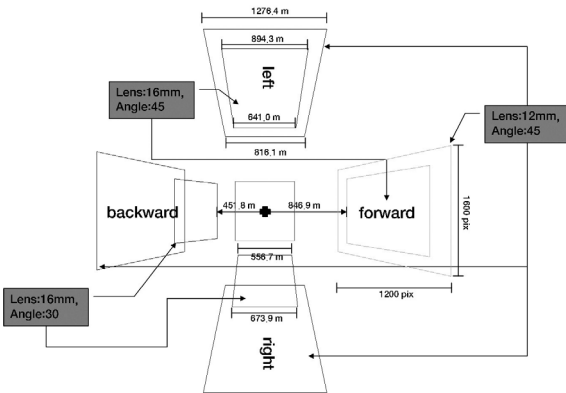


그림 10. 다각사진촬영시스템 촬영영역(footprint) 설계

3.2 촬영(Test Flight)

연직 및 경사사진 취득을 위한 촬영대상지역은 김포 공항에서 근거리이며, 보안지역이 없는 천안시청 주변

으로 선정하였다. 촬영면적은 경사사진 촬영영역을 고려하여 면적 4km×4km로 설정하고, 촬영형태는 경사사진 촬영영역에 대하여 다양한 각도에서 영상에 대한 분석을 위해 그림 10과 같이 동서방향 4코스, 남북방향 4코스 총 8코스를 수직사진을 기준으로 촬영고도 1000m, 중중복도 60%, 횡중복도 30%에서 수행하였으며, 수직사진 총 168매, 경사사진은 각 카메라 별로 168매를 취득하였다. 또한 촬영시 촬영대상지역 반경 30km내에 있는 천안운동장 부근에 GPS 지상기지국을 설치하여 2Hz 간격으로 데이터를 취득하였다.

3.2 촬영성과 분석 및 데이터 처리

촬영결과 카메라 각도 30도의 촬영영상은 기존 항공용 디지털 카메라에 비하여 카메라 화각이 크지 않았으며, 반면 카메라 각도 45도인 경우에는 기존 항공용 카메라보다 넓은 범위 경사촬영이 가능하였다. 하지만 각

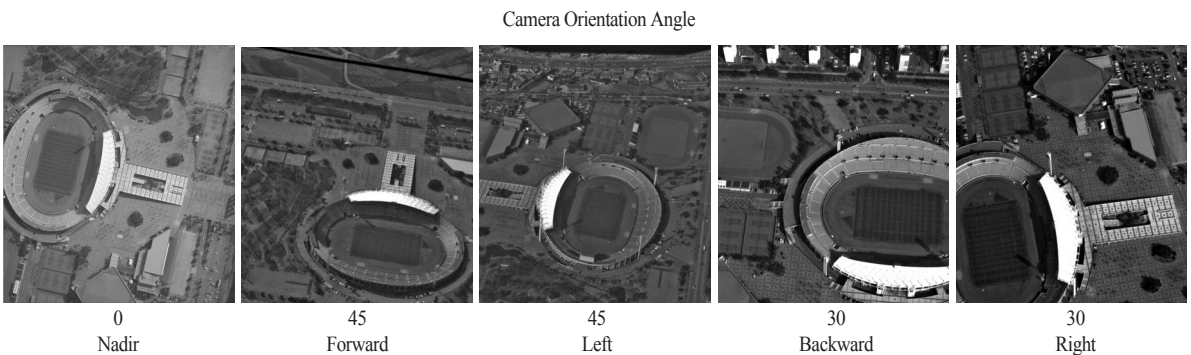


그림 11. 카메라 설치 각도별 촬영영상

도가 커질수록 해상도가 저하되는 것을 알 수 있었다. 그림 10은 카메라 설치 각도별 촬영영상이다.

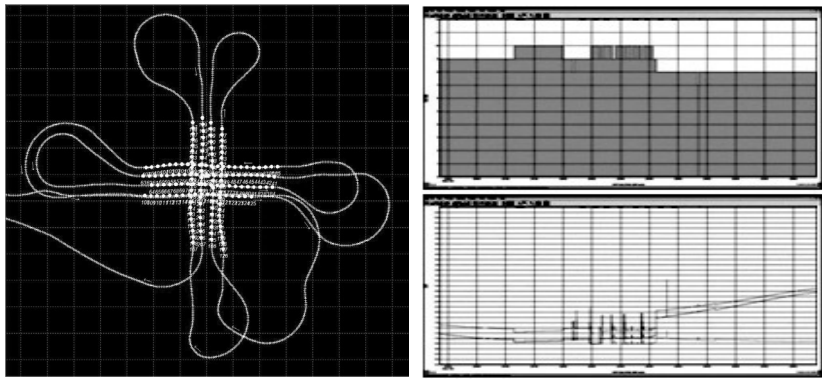
다각사진촬영시스템은 경사사진을 촬영해야하는 장비 특성상 촬영시 Roll, Pitch, Heading에 영향을 많이 받으므로 기존 항공용 마운트를 이용하여 X, Y, Z 3축에 대한 Drift Control이 필요하다고 판단된다. 실제로 본 연구에서와 같이 방진구를 사용한 마운트로 촬영하면 Roll, Pitch에 영향으로 각도가 5도씩 변하여 경사사진의 지상 해상도가 5~10cm 정도 차이나는 것을 알 수 있었다.

다음으로 GPS/INS 데이터와 지상기지국 절대좌표를 이용한 데이터 후처리를 수행하여 촬영당시의 위치와 자세에 대한 수직사진 외부표정요소를 산출하였으며(표 9), 그림 12와 같이 촬영당시 수신된 GPS 위성의 수는 7 이상, PDOP는 3이하로 매우 양호하게 관측된 것을 알 수 있었다.

마지막으로 INS를 설치하면 항공사진기와 INS 좌표계의 방향이 정확하게 일치하지 않으므로 INS로 측정된 회전인자를 외부표정요소로 사용하기 위해서는 두 센서

의 좌표축의 이격(offset)을 측정하여야 하며, 이 과정을 boresight calibration이라고 한다(Mostafa, 2008). 그림 13에서와 같이 수직사진촬영 카메라와 INS의 boresight calibration을 위해 수직사진영상을 이용하여 항공삼각측량을 수행하였고, 각 코스에는 적어도 10장 이상으로 구성하였다.

AT작업 수행시 총 26개의 지상기준점을 사용하였으며 사용된 기준점에 대한 조정결과는 평면위치(X, Y) RMSE X는 0.084m, Y는 0.081m이고 수직위치(Z)의 RMSE는 0.03m로 계산되었으며, GPS/INS를 이용한 초기 외부표정요소와 AT결과에 의한 외부표정요소를 비교하여 X, Y, Z, 3차원 위치좌표를 촬영코스별로 분석하고, 촬영이벤트 시간지연효과를 확인하였다. 확인결과 Rollei AIC 카메라로 촬영시 GPS/INS와 촬영이벤트 지연이 없다는 것을 알 수 있었고, 외부표정요소의 회전요소를 분석하여 표 10과 같이 Boresight Angle 보정값을 산출하였다.



촬영 궤적 및 이벤트

GPS 수신상태/PDOP

그림 12. 촬영궤적 및 GPS 위성 수신상태 /PDOP

표 9. GPS/INS 데이터 처리 결과

항 목	Position Residuals			GNSS Position StdDev		
	위도	경도	높이	위도	경도	높이
Min (m)	-0.016	-0.013	-0.091	0.022	0.019	0.036
Max (m)	0.027	0.011	0.067	0.054	0.025	0.099
Mean (m)	0.000	0.000	-0.018	0.025	0.021	0.055
RMSE (m)	0.003	0.002	0.029	0.026	0.021	0.058

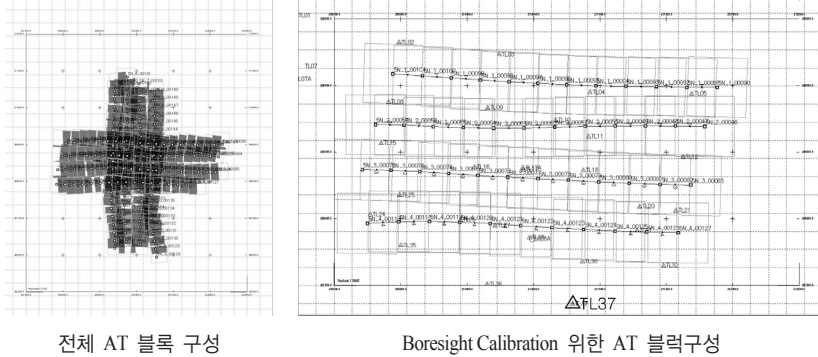


그림 13. Bore sight Calibration 위한 블록구성

표 10. Bore sight Angle 보정값

보정값	Bore sight Angle (Degrees)		
	X축	Y축	Z축
	-0.0135	0.0655	-0.0778

4. 결론

본 연구에서는 다각사진촬영시스템 프로토타입을 개발하여 카메라, GPS/INS, 제어, 저장과 같은 각 장비 구성단위별로 단위테스트를 수행하여 각 장비의 특성을 파악하고, 현장테스트를 통하여 촬영성가에 대한 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 경사사진용 카메라의 각도는 촬영영역을 고려할 때 30° 보다는 45°가 유리하나, 각도가 커질수록 해상도가 저하되므로 CCD의 크기와 렌즈의 초점거리 등을 고려하여 해상도가 저하되지 않도록 적절한 카메라를 선정하여야 한다.

둘째, GPS/INS와 동기화장비의 특성을 분석하기 위해서 GPS Time과 동기화를 수행하였으며, IPAS20 장비의 경우 UTC offset과 일치하는 차이를 보였고, PPS와 NMEA 메시지 송신 순서의 차이로 인해 1초가 추가되었으며, 0.001초 PPS신호의 길이 차이가 나타났다. 분석결과 표준편차 0.0000047086로 목표정밀도인 1/10,000초를 만족하는 결과를 얻었다. 또한 동기화장비를 이용하여 Exposure Delay를 분석한 결과 최초노출을 제외한 일정 시간의 지연특성을 확인할 수 있었다.

셋째, 경사사진 촬영용 카메라는 비측정용 카메라를 사용하였으므로 자체검정(self-calibration)에 의한 내부표정요소를 산출하였고, 검사점에 의한 계산된 사진좌표

와 직접 사진에서 측정된 사진좌표의 차이로부터 각 카메라 대한 평균제곱근 오차(RMSE)는 x좌표와 y좌표에 대해 각각 0.4~0.5픽셀로서 실험에 사용된 디지털 카메라가 비측정용 카메라인 점을 고려하면 매우 정확한 결과가 도출되었다.

넷째, 다각사진촬영시스템 프로토타입의 Bore sight Calibration을 위해 수직사진영상을 이용하여 항공삼각측량을 수행하였고, 사용된 기준점에 대한 조정결과는 평면위치(X, Y) RMSE가 X는 0.084m, Y는 0.081m이고 수직위치(Z)의 RMSE는 0.03m로 계산되었으며, AT결과에 의한 Bore sight Angle 보정값을 산출하였다.

향후 다각사진촬영시스템은 기존 항공용 마운트를 기반으로 초점거리가 긴 렌즈를 사용한 측정용 카메라를 사용할 것이며, 촬영성가에 대한 수직 및 경사사진 AT를 수행하여 Mapping기반의 3차원 도시모델을 제작 및 분석하겠다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(07국토정보C02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

오재홍, 이창노, 어양담 (2006), 비측정용 디지털 카메라의 효율적인 자체 검정을 위한 대상기 구성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 24권, 제 3호, pp. 281-288.
 Grenzdörffer, G. J., Guretzki, M. and Friedlander, I. (2008), Photogrammetric image acquisition and image analysis of

- oblique imagery, *The Photogrammetric Record*, Vol. 23, Issue 124, pp. 372-386.
- Gruen, A. and Beyer, H. A. (1992), System calibration through self-calibration, Workshop on Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision(TU-1), *ISPRS XVII Congress*, Washington, DC, p 33.
- Jacobsen, K. (2008), Geometry of vertical and oblique image combinations, Leibniz University Hannover, Remote Sensing for a Changing Europe - *Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories*, June 2008, pp 16-23.
- Mikhail, E. M. and Bethel, J. S. and McGlone, J. C. (2001), *Introduction to modern photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 136-137.
- Mostafa, M. M. R. (2008), Digital multi-sensor systems- calibration and performance analysis, OEEPE, *Integrated Sensor Orientation Test Report and Workshop Proceedings*, July 2002, pp. 169-170.
- Wang, Y., Schultz, S. and Giuffrida, F. (2008), Pictometry's proprietary airborne digital imaging system and its application in 3d city modelling, The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008, pp. 1065-1066.

(접수일 2009. 3. 30, 심사일 2009. 4. 20, 심사완료일 2009. 4. 24)