

## 항공기용 디지털 영상에 대한 검정(Calibration) 및 정확도 평가 Calibration and accuracy evaluation of airborne digital camera images

이승헌<sup>1)</sup> · 위광재<sup>2)</sup> · 이강원<sup>3)</sup> · 이홍술<sup>2)</sup>

Lee, Seung Heon · We, Gwang Jae · Kim, Eung Young · Lee, Hong Sul

<sup>1)</sup> 한진정보통신(주) GIS기술팀, shlee4@hist.co.kr

<sup>2)</sup> 한진정보통신(주) GIS기술팀, 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정, gjwe@hist.co.kr

<sup>3)</sup> 한진정보통신(주) GIS사업팀장, 충남대학교 토목공학과 박사과정, kwlee@hist.co.kr

### Abstract

Photogrammetry is one of the most important sources of GIS application. Nowadays, color photos are used and camera is integrated with GPS/INS sensors. However the photos are still taken from analogue camera and scanned for digital image. For the convenient and accurate image application especially for 3D, airborne digital camera images is essential. In this paper, digital image calibration process with GPS/INS and its accuracy evaluation was presented.

## 1. 서 론

항공사진측량은 지상 대상물의 정성적, 정량적 상태를 보다 정확하고 경제적으로 파악할 수 있는 측량방법중의 하나이다. 현재 대부분의 지도제작 및 GIS 데이터를 항공사진측량 방법으로 제작되고 있으며, 사진 자체도 과거 흑백사진에서 컬러사진으로 전환되고 있다. 또한 Direct Georeferencing이 가능하도록 GPS와 INS의 기술이 결합되어 활용됨은 물론 지형지물의 3차원 분석을 하기 위하여 응용되고 있다.

하지만 항공사진촬영 이후, 실제 디지털 환경에서의 성과 활용을 위해서는 항공사진 전용 스캐너를 이용하여 디지털화 작업이 선행되어야 한다. 이 과정에서 필름자체의 신축, 훼손이 발생할 수 있으며, 스캐닝 공정에서도 일정한 왜곡이 발생할 우려가 높다.

따라서 항공사진 촬영 당시부터 디지털 영상을 얻을 수 있는 디지털 카메라의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 항공기용 디지털 카메라 영상을 이용하여 이에 대한 검정(calibration) 및 정확도에 관한 평가를 실시하였다.

## 2. 디지털 영상 및 장비

### 2.1 디지털 카메라

본 연구에서 사용된 디지털 카메라는 캐나다 Applaninx사의 DC-4K02 제품이다. 위치와 자세정보 취득을 위한 GPS 및 IMU는 항공기에 동시 장착된 LiDAR장비와 공유하고 있으며 촬영된 영상의 저장을 위해 착탈식 80GB 하드디스크가 장착된다. 영상의 해상도는 고도 1,500m에서 촬영시, 약 0.25m의 해상도를 나타낸다(속도 120knot, 1/2,000 exp., smear 15%).

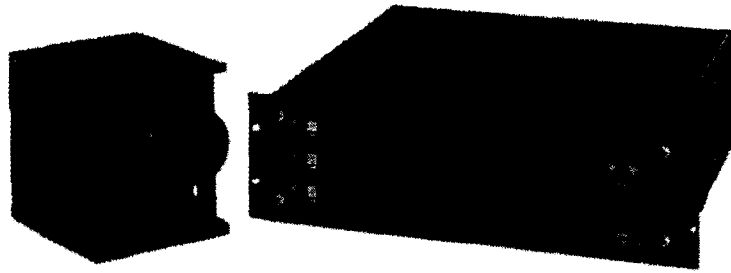


그림 1. 디지털 카메라 및 영상 레코더

표 1. 디지털 카메라의 제원 및 영상밴드

픽셀 배열 크기	4,092(along flight) * 4,079(cross flight)		
픽셀 크기	0.009mm		
필터	color / color-IR		
렌즈	Zeiss Distagon 55.0mm, 36° FOV		
셔터 속도	1/125 - 1/4,000 초		
노출 시간	최대 4초		

밴드	1	2	3
Color mode (nm)	400-500	500-600	600-680
CIR mode (nm)	510-600	600-720	720-800

## 2.2 디지털 영상

디지털 카메라를 이용한 영상취득은 기존의 공정과 비교하여 시간과 비용의 절감은 물론 영상자체의 품질 향상에도 기여를 한다. 아날로그 필름에서 디지털 영상이 나오기까지는 필름현상과정, 스캐닝과정을 거쳐야 하는데 이때 필름의 신축, 훼손, 스캐너 공정의 오류는 피할 수가 없다. 따라서 영상센서 자체에서 디지털 영상을 취득하여 이를 활용하는 방안이 디지털 환경에서의 활용을 극대화 할 수 있다. 또한 항공기가 착륙후, 하드디스크에 담긴 영상을 컴퓨터에 내려 받는 것만으로도 후속 공정의 진행이 가능해지는 완전 디지털 방식이다.

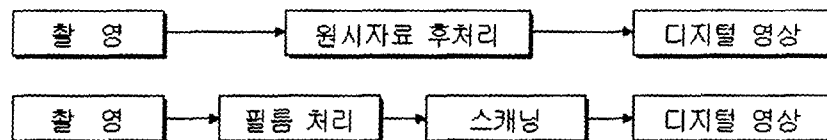


그림 2. 기존공정(상)과 디지털공정(후)의 비교

디지털 카메라에 동시 장착된 GPS 및 IMU 장치는 direct georeferencing을 가능케하고 있다. 비행중 수신율 1Hz의 GPS와 200Hz의 IMU정보가 상호 보완되어 실시간으로 기록된다. 따라서 일정한 calibration 과정을 거친다면, 많은 수의 기상기준점 측량성과가 없어도 원하는 정확도로 외부표정요소(영상촬영당시의 주점좌표 및 회전량)를 구할 수 있다.

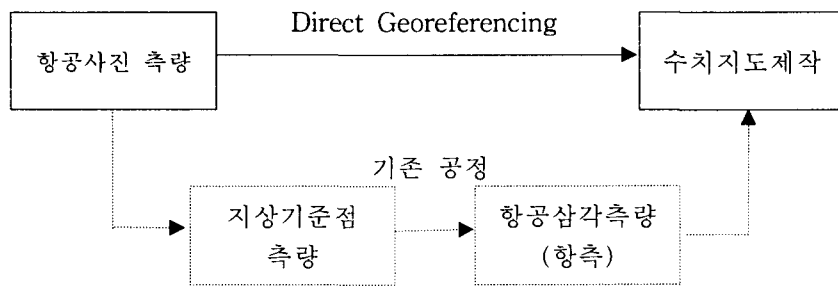


그림 3. Direct georeferencing과 기존공정의 비교

### 2.3 디지털 영상의 취득

영상취득은 컬러와 CIR의 두 가지 모드를 선택하여 취득할 수 있다. 영상의 취득은 필터와 렌즈를 통해 들어온 R, G, B 또는 IR, G, R을 저장하여 이를 후처리 하면 컬러영상 또는 CIR영상을 얻을 수 있다. 각 영상의 원시파일은 34MB의 용량이며, 처리 후에는 약 48MB(8bit의 경우)의 크기가 된다.

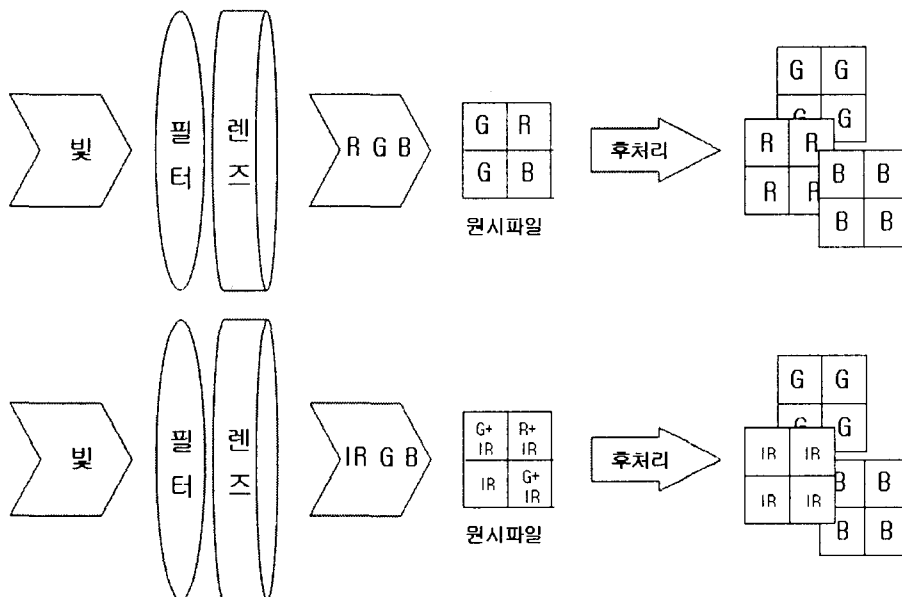


그림 4. 디지털 영상의 취득과정.

컬러영상(상), CIR영상(하)

본 연구에서의 디지털 카메라 영상들은 고도 1,000m에서 촬영된 컬러 영상으로 영상해상도(GSD, ground sample distance)는 약 0.17m이며, Cessna 208기에 탑재되어 촬영되었다.

### 3. 디지털 영상의 검증

영상에 대한 검증을 위해 천안에 위치한 독립기념관 일대를 촬영고도 940~1,000m, 종횡방향으로 2-3 스트립씩 총 2회(3월3일, 3월4일) 촬영되었다. 사용된 사진매수는 각각 36매, 42매, 지상기준점의 수는 총 13점이 사용되었다. 좌표는 WGS84 UTM(zone52)로 계산되었으며, 타원체고가 높기 때문에 이용되었다. DGPS를 위해 지상에 설치된 지상GPS기준점은 항공기의 이륙에서 착륙까지 전체 촬영시간동안 수신하였다.

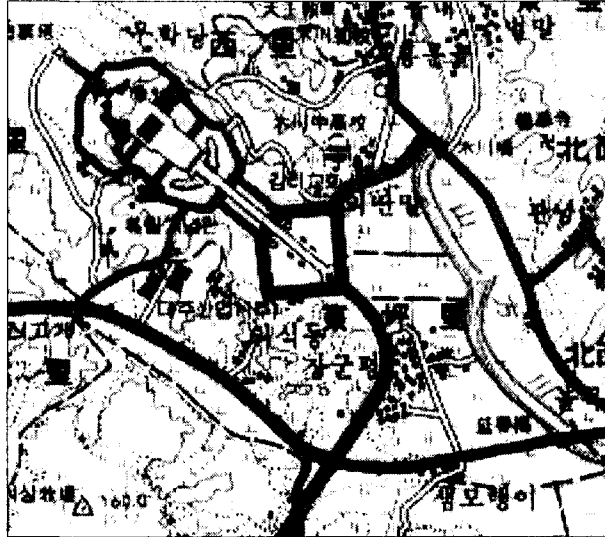


그림 5. 검증장소로 이용된 독립기념관 일대

표 2. 지상 GPS기준점 정보

경도	36-47-15.5529 N
위도	127-14-06.4732 E
타원체고	108.532 m
수신각	10 deg
수신간격	1 sec

### 3.1 카메라 검증 파라메타

다음은 제조사에서 정밀히 측정된 카메라 시스템에 대한 검증 파라메타 값이다. 주점의 위치와 렌즈 왜곡 등에 대한 값이 주어져 있으며, 카메라와 IMU간의 boresight값은 AT결과와 비교하여 구할 수 있다.

표 3. 카메라 검증 파라메타

파라메타	검증 값
Focal Length	55.156mm +/-0.009mm
Principle Point Offset (X)	0.061mm +/-0.0036mm
Principle Point Offset (Y)	-0.070mm +/-0.0036mm
Camera Event Timing Offset	-0.0024sec
Scanner-Camera Lever Arm	X : 0.132m Y : -0.061m Z : 0.025m

Radial Distance (mm)	Radial Distortion (Pixel)	Radial Distortion (microns)
1	-0.00	-0.022
2	-0.02	-0.179
3	-0.07	-0.602
4	-0.16	-1.426
5	-0.31	-2.784
6	-0.53	-4.807
7	-0.85	-7.627
8	-1.26	-11.372
9	-1.80	-16.167
10	-2.46	-22.136
11	-3.27	-29.395
12	-4.23	-38.056
13	-5.36	-48.222
14	-6.66	-59.983
15	-8.16	-73.420
16	-9.84	-88.594
17	-11.73	-105.551
18	-13.81	-124.308
19	-16.10	-144.860
20	-18.57	-167.166
21	-21.24	-191.148
22	-24.08	-216.684
23	-27.07	-243.600
24	-30.19	-271.666
25	-33.40	-300.586
26	-36.67	-329.986

그림 6. 카메라 렌즈 왜곡표

### 3.2 Boresight각의 산출

Boresight각은 카메라와 IMU간의 misalignment를 보정하기 위한 값으로 항공삼각측량(AT)에서 얻어진 영상의 외부표정요소와 GPS/INS 장비에서 구해진 외부표정요소를 비교하여 결정된다. GPS/INS의 처리, 외부표정요소 계산, misalignment의 비교에는 Applanix사의 PosPac(ver 4.02), AT처리는 Z/I Imaging의 ISAT(ver 04.02)가 사용되었다.

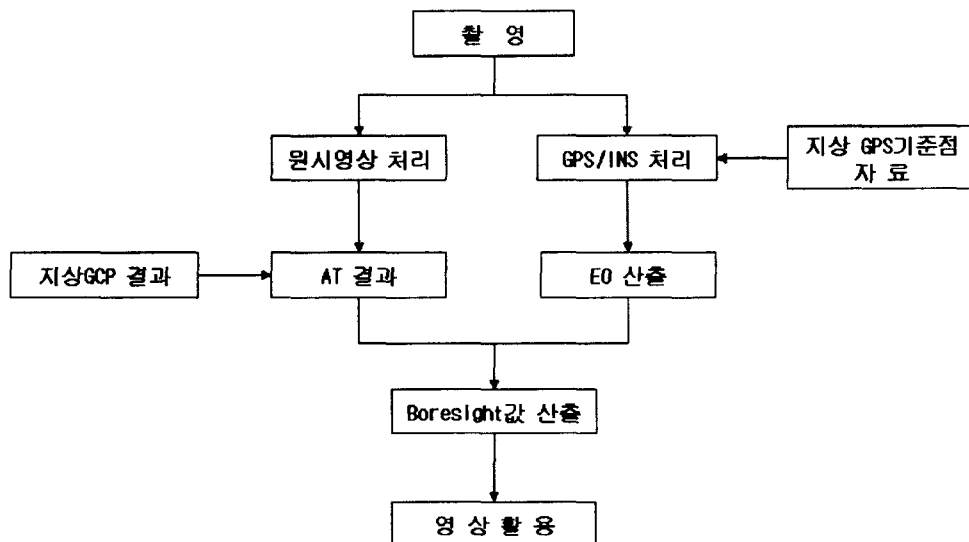


그림 7. Boresight각의 계산

비행중 측정된 GPS데이터와 지상에서 관측된 지상 GPS기준점을 DGPS로 처리하고 INS데이터와 통합한다. 미리 정해진 검증 파라미터 값을 입력하며 boresight각이 적용되지 않은 상태로 각 사진의 외부표정요소를 산출한다.

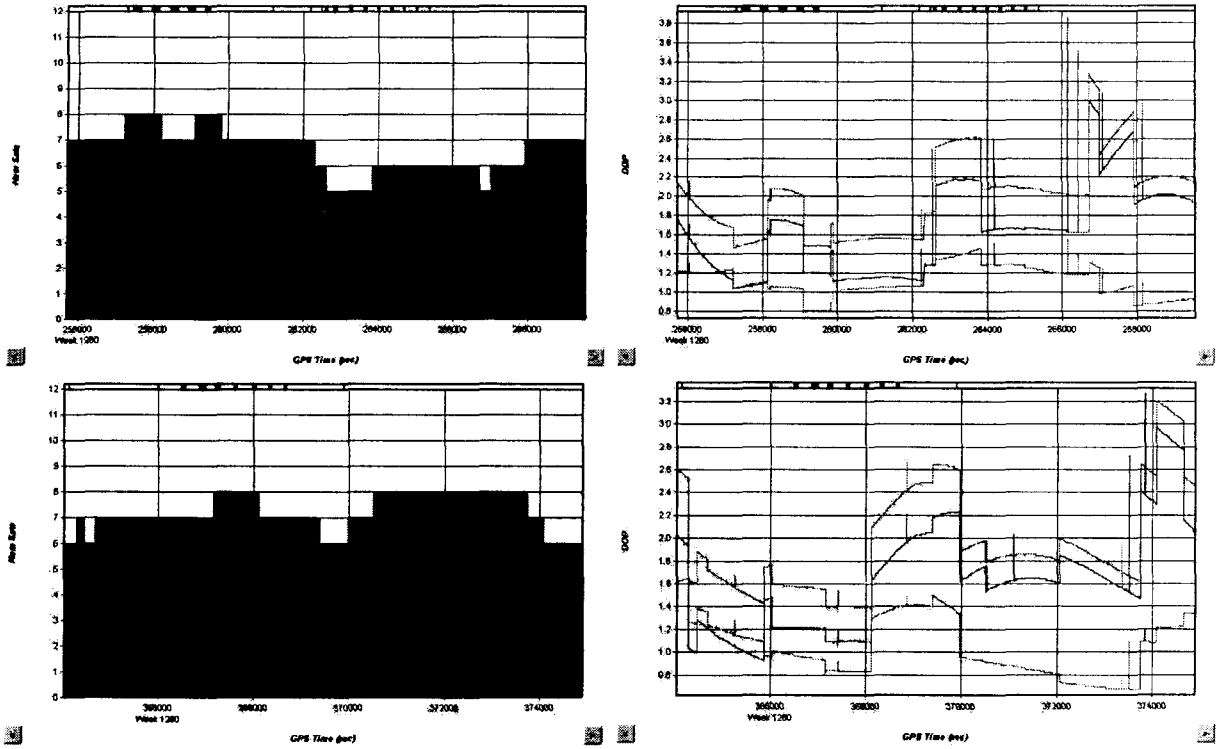


그림 8. 측정시 GPS 가시위성수 및 DOP (상:03/03, 하:03/04)

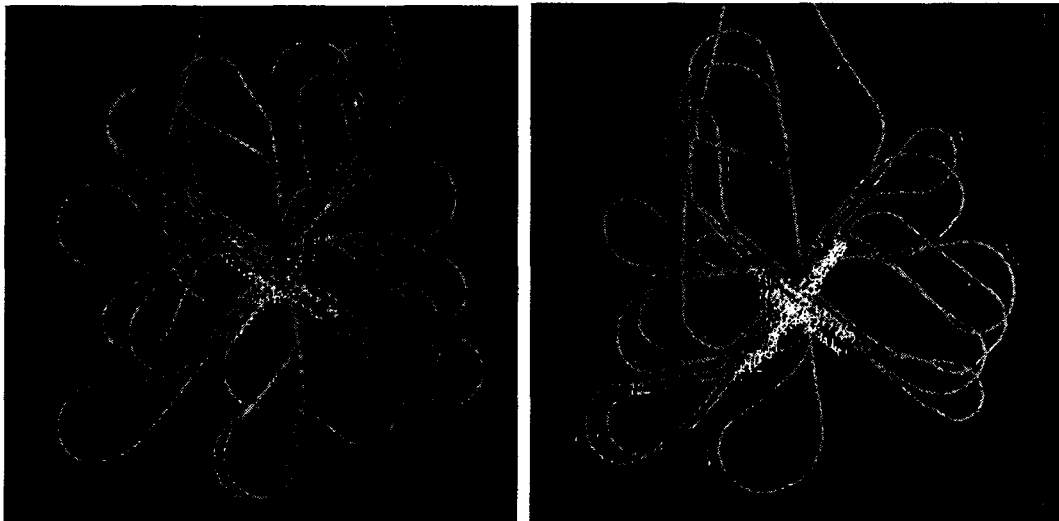


그림 9. 비행경로 및 카메라 노출(좌:03/03, 우:03/04)

```

*****
POS/AU Exterior Orientation Computation Utility      Version 4.0
Copyright (C) 1997-2002 by Applanix Corporation    [07/31/02]
All rights reserved.
*****

[Input Parameters]
LINEAR UNITS=m
ANGLE UNITS=deg
TIME UNITS=sec
SBET FILE=D:\camera_0304\sbet_01.out
RMS FILE=D:\camera_0304\sbet_01.out
EVENT FILE=D:\camera_0304\event1_040304.dat
EVENT TIME SHIFT=0.00000
PHOTOID FILE=D:\camera_0304\cameraevents.dat
PHOTOID EVENT OFFSET=-0.002400
MAPPING DATUM=WGS84
SEMINOR AXIS=6370137.000000
INU FLATTENING=290.257224
PROJECTION=UTM
BORESIGHT=      0.0000      0.0000      0.0000
LEVER ARM=      0.1320     -0.0610      0.0250
[UTM Projection]
ZONE=52
[DATA]
ID  EUNT#  TIME  E  N  ORTHO  O  P  K  LAT  LONG  EH  R  P  H  SE  SM  SH  SO  SP  SK  SR  SP  SH
06420324      3  365991.003618  340984.279  4105285.940  962.049  -5.04021  -1.25736
06420335      4  366001.953557  341070.292  4104564.417  971.100  -0.95969  -0.43246
06420017      5  366403.413999  344090.675  4074551.981  928.243  -3.91819  1.50209
06420022      6  366409.234506  343092.256  4074302.640  933.039  -3.90533  3.60957
06420040      7  366514.433055  342980.109  4073170.450  943.242  -2.47815  3.38146
06420053      8  366519.596165  342790.837  4072928.748  941.107  -2.10756  2.55541
06420058      9  366524.662050  342603.794  4072692.102  942.272  -5.36845  4.39695
06420063     10  366530.063039  342407.660  4072449.685  946.440  -3.52919  1.71193
06420069     11  366535.258260  342217.372  4072215.102  935.231  -5.49459  3.25228
06420074     12  366540.351251  342030.930  4071991.937  938.917  -5.76904  4.68293
06420079     13  366545.070302  341835.372  4071757.447  935.029  -4.56903  3.22341
06420085     14  366551.296241  341646.310  4071525.902  929.756  -3.22015  4.38205
06420090     15  366556.007467  341455.723  4071286.993  920.963  -6.10411  4.73156

```

그림 10. EO 계산

ISAT에서 좌표계와 카메라 파라미터를 설정해 준다. 앞서 만들어진 EO정보를 사진에 적용하여 영상 스트리업을 지정해주고, 자동매칭을 통해 tie/pass점을 만든다. 이때 부정확한 매칭이 이루어진 점들을 찾아서 수정한 후 이를 PAT-B형식으로 저장한다.

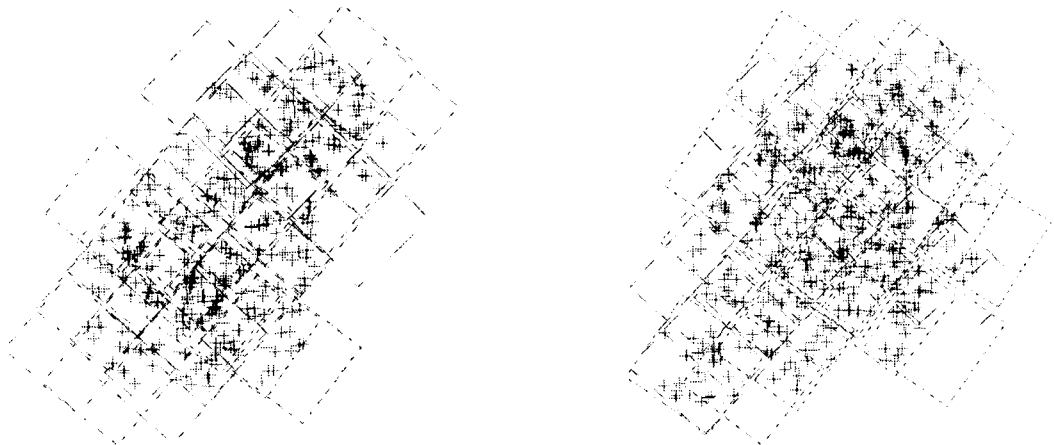


그림 11. 생성된 tie/pass점 (좌:03/03, 우:03/04)

POSCal 모듈에서 영상의 정밀도와 크기에 대한 값을 설정해주고, ISAT에서 생성된 PAT-B파일을 불러 영상의 매칭된 정보를 입력한다. POSCal 모듈의 실행으로 boresight값을 얻을 수 있고, 이를 바탕으로 다시 각 영상의 외부표정요소를 구한다.

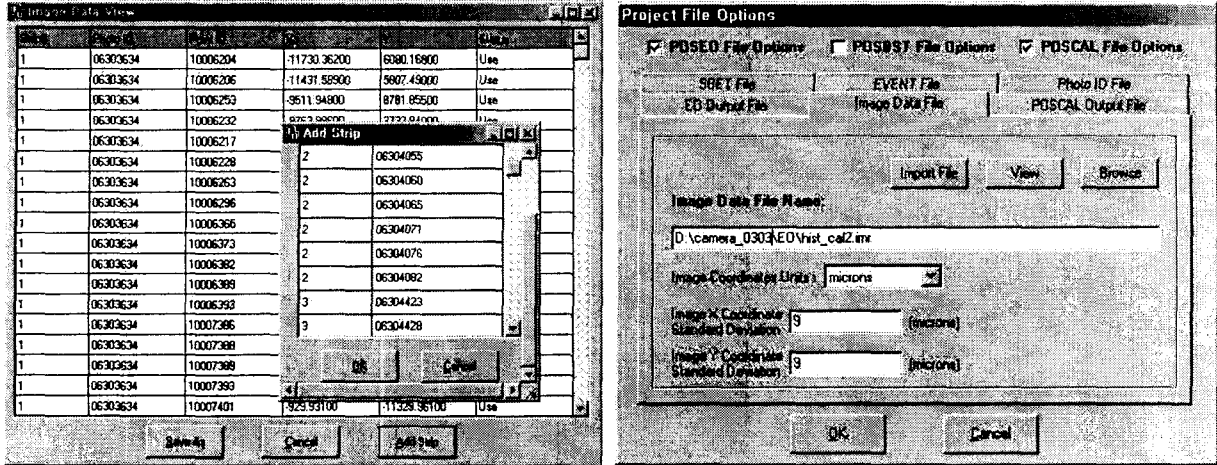


그림 12. 생성된 매칭점의 입력

재생성된 각 사진의 EO파일을 바탕으로 ISAT에서 영상을 다시 위치시키며, 기 측정된 GCP정보를 이용하여 각각의 해당 사진에서 선점을 한다.

표 4. GCP 좌표

GCP ID	Easting	Northing	Ellipsoid Height
A1	342026.179	4072159.075	131.591
A2	342408.920	4072047.906	107.564
AA	342312.209	4071604.629	99.647
B1	342701.065	4072222.535	98.162
B2	342993.253	4071561.541	93.869
C1	341839.905	4072074.720	104.055
C2	342012.280	4071840.692	104.796
D1	342753.252	4071251.363	93.178
D2	342425.698	4071464.788	98.582
D3	342650.616	4071636.600	93.841
E1	341258.535	4071473.239	109.247
E2	341617.976	4071247.343	104.341
E2-1	341553.241	4071144.683	103.959
F1	342263.871	4070783.765	101.364
F1-1	342289.087	4070832.545	101.774
F2	342015.226	4070985.244	105.902



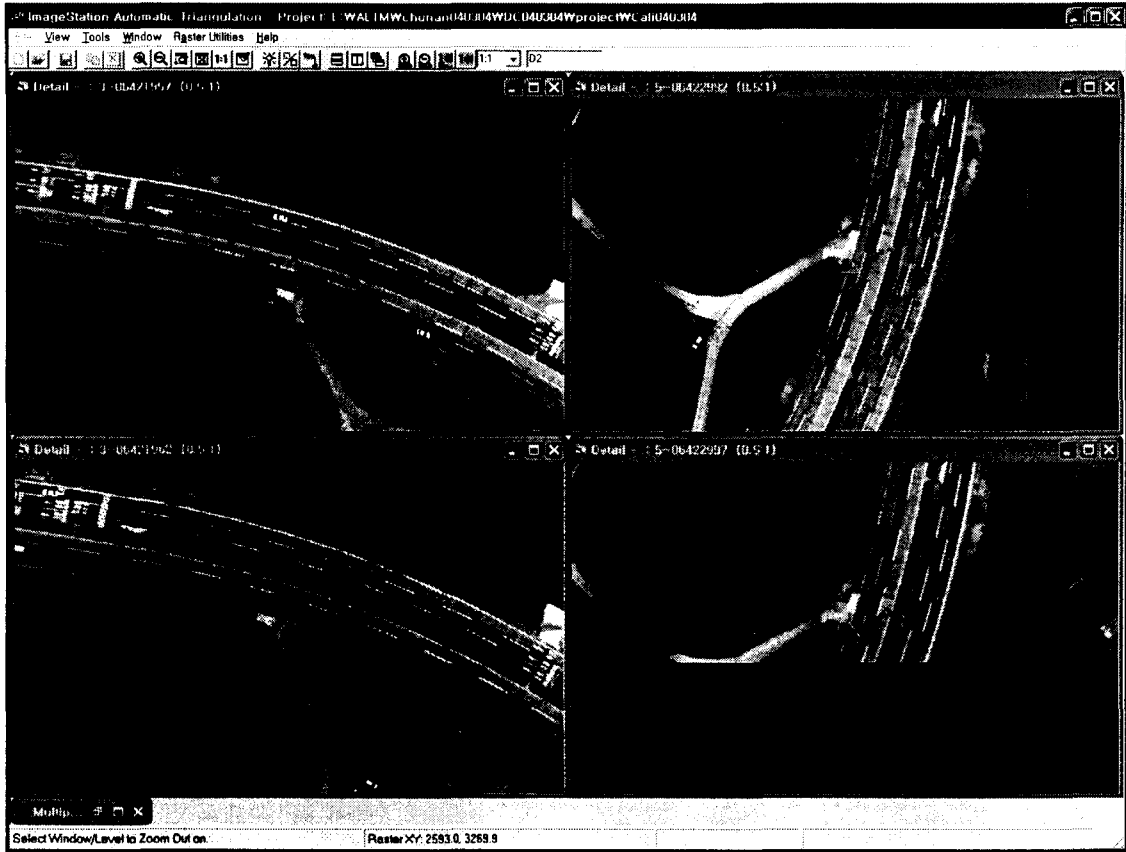


그림 13. GCP 선정

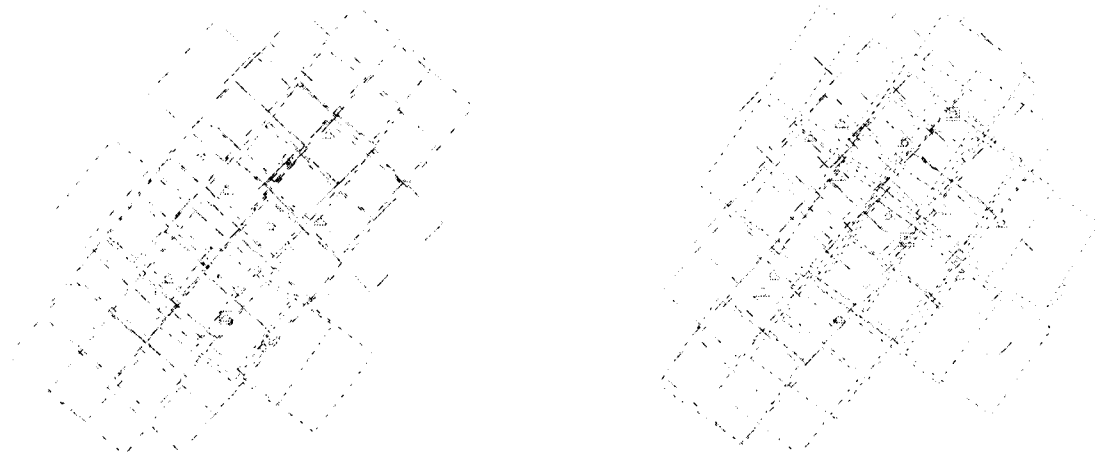


그림 14. 지상 GCP 배치도 (좌:03/03, 우:03/04)

입력된 GCP를 바탕으로 다시 한번 자동매칭을 실시하고 weak point를 수정하여 그 결과를 PAT-B형식으로 저장한다. POSCal에서는 GCP점들 및 새로운 매칭점에 대한 정보를 바탕으로 boresight값을 계산하여 사진의 외부표정요소를 결정한다.

표 5. 결정된 boresight 각 (단위: arc-min)

Omega	Phi	Kappa
10.7848	-9.5861	25.4046

### 3.3 정확도 검증

Boresight값을 적용한 최종의 외부표정요소 값과 AT결과는 거의 일치해야 한다. 두 값의 비교통계는 <표 6>에 나타나 있으며, 거의 동일한 결과를 얻었다.

표 6. 계산된 EO와 AT결과와 비교(부록 참고)

	RX(m)	RY(m)	RZ(m)	Romega(deg)	Rphi(deg)	Rkappa(deg)
MIN	-0.052	-0.092	-0.148	-0.0095	-0.0102	-0.0201
MAX	0.056	0.087	0.113	0.0086	0.0095	0.0274
AVERAGE	0.009	0.007	0.000	0.0003	-0.0012	-0.0004
STDEV	0.025	0.034	0.053	0.0037	0.0040	0.0078
RMS	0.026	0.034	0.053	0.0037	0.0041	0.0077

또한 direct georeferencing을 위해 EO결과만으로 지상점을 측정된 결과, 실측과의 표준편차는 평면 4~15cm, 높이 2~4cm로 나타났다.

표 7. Direct georeferencing 결과

(0303)	평면	높이	(0304)	평면	높이
D3	0.070	-0.006	B2	0.093	0.008
AA	0.038	-0.002	D3	0.081	-0.023
C2	0.098	0.007	AA	0.113	0.002
C1	0.100	-0.025	C2	0.059	0.041
E2	0.078	-0.018	A1	0.273	0.060
E2-1	0.098	-0.011	C1	0.138	-0.001
F1	0.046	0.019	E2	0.245	0.005
F1-1	0.100	0.025	E2-1	0.341	0.015
B1	0.063	0.010	B1	0.247	-0.002
A2	0.186	-0.044	A2	0.041	-0.038
D2	0.079	-0.005	D2	0.559	-0.094
E1	0.045	0.006	D1	0.053	0.003
F2	0.069	0.042	F2	0.237	0.024
MIN	0.038	-0.044	MIN	0.041	-0.094
MAX	0.186	0.042	MAX	0.559	0.060
AVERAGE	0.082	0.000	AVERAGE	0.191	0.000
STDEV	0.038	0.022	STDEV	0.148	0.038

### 4. 결 론

디지털 카메라는 기존의 아날로그 항공카메라와 달리 촬영과 동시에 간단한 후처리만으로 후속공정을 진행할 수 있다. 따라서 필름의 상태와 스캐닝 장비에 따른 각종 오류를 사전에 예방할 수 있으며 보다 신속 정확하게 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한 위치와 자세(position and orientation) 결정을 위한 GPS 및 IMU 센서가 동시에 장착되어 있기 때문에 direct georeferencing이 가능하다. 이는 지상측량에 따르는 시간적, 경제적 비용을 감소할 수 있다. 이를 위해서는 IMU와 카메라의 정확한 boresight 값을

결정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 2회에 걸친 테스트 비행을 실시하여 이로부터 카메라와 IMU간의 boresight를 취득하였다. 결정된 boresight값을 바탕으로 AT값에 근사한 각 사진의 외부표정요소를 결정할 수 있었으며, 지상점에 대한 정확도 분석을 통해 실제 direct georeferencing에도 충분히 적용 가능함을 알 수 있다. 따라서 디지털 카메라 영상을 활용한 정사영상 및 모자이크 제작과 같은 활용분야에서 보다 빠르게 결과물을 제작하는 토대가 마련되었다.

## 5. 부 록

표 8. 계산된 EO와 AT결과와 비교

PhotoID	RX	RY	RZ	RW	RP	RK
6303634	-0.018	0.027	0.029	0.0027	0.005	0.0058
6303640	-0.011	0.066	0.091	0.005	0.0038	-0.0012
6303645	-0.042	0.042	-0.005	0.0022	0.0095	0.0036
6303651	-0.015	0.074	0.048	0.0074	0.0052	0.0067
6303656	-0.008	0.06	-0.024	0.0041	0.0022	0.0274
6303662	-0.006	-0.006	0.016	-0.0021	0.0049	-0.0092
6303667	-0.025	0.017	-0.06	-0.0003	0.0056	0.0032
6303672	-0.01	0.061	-0.02	0.0078	0.0028	0.0065
6304039	0.031	0.012	0.003	0.0034	-0.0048	0.0057
6304044	-0.005	-0.004	0.026	0.0013	-0.0014	-0.0061
6304049	0.017	-0.011	0.019	0.001	-0.0028	-0.0065
6304055	0.004	-0.021	0.079	0.0023	-0.0063	-0.015
6304060	-0.017	0.008	0.01	0.0045	-0.0012	-0.0061
6304065	-0.02	-0.017	-0.035	-0.0028	-0.0002	-0.0038
6304071	-0.023	-0.065	0.082	-0.0029	-0.0045	-0.0116
6304076	-0.026	-0.033	0.05	-0.0021	-0.0007	-0.0062
6304082	-0.03	-0.026	-0.033	-0.0009	0.0036	0.0003
6304423	-0.012	-0.034	0.014	-0.0068	0.0025	0.0084
6304428	-0.013	-0.019	-0.093	-0.0046	-0.0009	-0.0053
6304434	0.006	0.007	0	-0.0058	-0.0032	0.0015
6304439	0.026	-0.018	-0.003	-0.0095	-0.003	0.0023
6304445	0.019	-0.027	-0.106	-0.0032	-0.0029	0.0009
6304450	0.026	-0.002	-0.051	-0.0049	-0.0047	0.004
6304456	0.051	-0.018	-0.069	-0.005	-0.0045	-0.002
6304461	0.025	-0.014	-0.003	-0.0031	-0.0028	-0.0043
6304791	0.024	-0.014	-0.01	-0.0012	-0.0037	0.0044
6304796	0.021	-0.042	0.012	-0.0035	0.0025	0.0138
6304802	0.017	-0.003	0.1	-0.0004	0.0026	0
6304807	0.025	-0.003	-0.027	0.0014	0.005	-0.003
6304812	0.019	-0.012	-0.064	-0.0004	0.0014	-0.0136
6305809	0.009	0.014	-0.017	0.0029	-0.0023	0.0085
6305814	-0.02	0.041	0.078	-0.0005	0.0003	-0.0022
6305818	0.016	0.02	-0.052	-0.0015	-0.0027	-0.0161
6305823	-0.015	-0.007	0.047	-0.0041	-0.0014	-0.0121
6305828	0.018	-0.012	-0.029	-0.0035	-0.0051	-0.0007
6305833	0.015	0.023	-0.005	0.0022	-0.0037	-0.0075
6420863	0.018	0.039	0.082	0.0029	-0.0014	0.0119
6420869	0.021	0.055	0.036	0.0019	-0.003	0.0022

6420874	0.019	0.04	0.028	0.0026	0.0013	-0.0019
6420879	0.016	0.031	0.109	0.006	0.0006	-0.0027
6420885	0.006	0.052	-0.044	0.0051	-0.0006	-0.0026
6420890	0.05	0.04	-0.015	0.0046	-0.0069	-0.0008
6421233	-0.008	0.007	-0.011	0.0018	0.0021	-0.0031
6421264	0.004	-0.032	0.073	0.0047	-0.0047	-0.0034
6421269	-0.015	-0.008	0.006	0	0.0032	0
6421573	-0.004	-0.014	-0.011	-0.0006	-0.0007	0.0085
6421578	0.03	0.044	-0.044	-0.0007	-0.0011	-0.0046
6421583	0.047	0.029	-0.041	-0.0002	-0.0044	-0.0021
6421589	0.041	0.063	-0.075	-0.0021	-0.0035	0.0109
6421594	0.036	0.038	-0.148	-0.0029	0.0007	0.0038
6421600	0.056	0.007	-0.023	-0.0028	-0.0042	-0.0048
6421605	0.043	0.045	-0.104	0.0025	-0.005	-0.0031
6421611	0.011	0.048	0.005	0.0053	-0.0026	0.0039
6421942	0.055	-0.029	0.009	-0.0042	-0.008	-0.001
6421947	0.053	-0.008	0.014	-0.0016	-0.0102	0.0009
6421952	0.027	-0.032	-0.043	-0.0046	-0.0057	-0.0036
6421957	-0.002	-0.092	0.113	0.0022	-0.0053	0.0072
6421962	-0.002	-0.035	0.066	0.0013	-0.0059	-0.0028
6421968	0.018	-0.027	0.018	-0.0008	-0.006	-0.0078
6421973	0.018	-0.014	-0.022	-0.0021	-0.0045	-0.0012
6422338	-0.052	-0.008	-0.015	-0.0008	0.0069	0.0032
6422344	0.018	0.004	-0.049	-0.0002	-0.0023	0.0064
6422349	0.039	-0.005	-0.015	0.0015	-0.0047	0.0196
6422355	0.024	-0.011	0.109	0.0033	-0.0018	0.0084
6422360	0.049	0.027	-0.046	0.0039	-0.0015	-0.0126
6422366	0.05	0.046	-0.065	0.0073	-0.0054	0.0052
6422668	0.027	0.016	0.005	0.0035	-0.0043	0.0014
6422673	-0.003	0.034	0.08	0.005	-0.0058	-0.0005
6422679	-0.028	0.087	0.012	0.0017	-0.0055	-0.004
6422684	-0.014	0.022	0.036	-0.0017	-0.0047	-0.008
6422689	0.012	0.014	-0.027	-0.0001	-0.0039	-0.0086
6422694	-0.018	0.056	-0.019	0.0086	0.0018	-0.0036
6422981	-0.023	-0.027	0.033	-0.0044	0.0048	-0.0013
6422987	-0.037	-0.028	-0.019	-0.0053	0.0059	0.0089
6422992	0.023	-0.004	0.039	-0.0039	0.002	0.0004
6422997	0.021	-0.028	0.011	-0.0016	0.0023	0.006
6423002	0.016	-0.001	-0.003	0.001	0.0014	-0.005
6423007	-0.014	0.029	-0.042	0.0044	0.0027	-0.0201
MIN	-0.052	-0.092	-0.148	-0.0095	-0.0102	-0.0201
MAX	0.056	0.087	0.113	0.0086	0.0095	0.0274
AVERAGE	0.009	0.007	0.000	0.0003	-0.0012	-0.0004
STDEV	0.025	0.034	0.053	0.0037	0.0040	0.0078
RMS	0.026	0.034	0.053	0.0037	0.0041	0.0077



그림 15. 영상 검정을 위한 Calibratin Site의 모자이크 영상

### 참고문헌

- 이강원 ,이재원 ,강인구 (2003), GPS/INS에 의한 Direct Georeferencing의 실무적용 연구, 대한토목학회 지, pp. 3053~3062
- 위광재 외 2인(2002), 도화원도를 이용한 LiDAR DEM의 정확도 평가, 한국측량학회논문집 20권 제2호, pp127~136
- 위광재 외 3인(2004), LiDAR & SHOALS 기술을 이용한 해안선 측량 및 모니터링에 관한 연구, 한국 해안·해양공학회, 한국의 해안선 정립을 위한 workshop 논문집, pp. 137-144
- Applanix (2004), The digital sensor system
- Applanix (2004), Camera calibration report
- Applanix (2004), POSPac user manual
- Z/I Imaging (2003), ISAT, ISPM user guide book
- Optech (2003), Aerial Camera System Specification
- Optech (2004), ALTM 4K02 system performance report