

# 지상기준점을 이용한 디지털카메라 Boresight Calibration

## Digital Photogrammetry Camera Boresight Calibration Using Ground Control Points

이용욱<sup>1)</sup>

Lee, Yong Wook

### Abstract

Recently, the direct georeferencing has been becoming a common method in the aerial photogrammetry. As this direct georeferencing method using converged sensor of the digital photogrammetry camera and GPS(Global Positioning System)/INS(Inertial navigation System), more rapid and accurate aerial photogrammetry has improved following advanced performance in photogrammetry. Since the accuracy of EO parameters from the direct georeferencing is determined by GPS/INS accuracy, it is significant to calculate the exact attitude information using values of INS rotations. For following calculations, the misalignment, such as INS rotation and the gap of GPS/INS, has to be decided. Because the number of ground control points are used for tirangulation and boresight calibration, those results should be different according to array and location of ground control points. In the study, those location and array of ground control points were tested to be used boresight calibration. As a result, there is no significant change of misalignment and exterior orientation parameters in the case when ground control points were at all course. On the contrarily, the difference has been shown in the case of no ground control point at course.

Keywords : GPS/INS, Direct Georeferencing, Boresight Calibration, Ground Control Point, Aerial Triangulation

### 초 록

최근의 항공사진측량은 디지털항공사진 카메라와 GPS/INS를 결합한 통합 센서를 활용하여 Direct Georeferencing 하는 방법이 보편화됐으며, 이를 기반으로 신속하고 정확하게 사진측량을 수행할 수 있게 되었다. Direct Georeferencing을 통해 얻을 수 있는 외부표정요소의 정확도는 GPS/INS에 의해 결정되는데, INS의 회전량 차이를 결정하여 자세정보를 정확하게 계산하는 것이 중요하다. 이를 위해 Boresight Calibration으로 INS의 회전량 차이 및 GPS와 INS 간의 간격과 같은 Misalignment를 결정해야 한다. 이때 많은 수의 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량과 Boresight Calibration을 하게 되는데, 지상기준점의 수와 배열, 위치에 따라 그 결과가 다르게 나타난다. 연구 결과 모든 사진코스에서 지상기준점을 배치할 경우 점수의 변화에 따른 Misalignment와 외부표정요소는 큰 변화가 없었으나 지상기준점이 없는 코스가 있을 경우 그 값들에서 차이가 크게 발생하였다.

핵심어 : GPS/INS, Direct Georeferencing, Boresight Calibration, 지상기준점, 항공삼각측량

---

Received 2014. 05. 27, Revised 2014. 06. 27, Accepted 2014. 07. 24

1) Member, Dept. of Civil & Environmental Eng., Induk University (E-mail : leeyongwook@empal.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

최근 디지털항공사진 카메라와 GPS/INS를 결합한 통합 센서를 통해 Direct Georeferencing 하는 방법이 보편화되었으며, 이를 기반으로 신속하고 정확하게 사진측량을 수행할 수 있게 되었다.

항공사진을 측량에 활용하기 위해서는 이에 사용되는 카메라에 대한 특성을 파악하는 것이 중요하다. 카메라와 GPS/INS 등의 센서는 물리적 특성에 따른 여러 가지 오차를 포함하고 있는데 이들 센서의 통합운영으로 발생하는 추가적인 오류와 이로 인해 발생하는 오차를 보정할 수 있어야 한다.

사진측량을 통해 정보를 획득하기 위해서는 각 사진에 대한 위치정보가 필요하다. Fig. 1에서 IMU 좌표계는 X축이 전방, Y축이 오른쪽, Z축이 아래방향이고, 카메라 좌표계와 평행하지 않게 설치되므로 boresight angle이 존재하게 된다 (Yoon, 2008). 따라서 통합된 센서들의 상호 위치 및 방향에 대한 초기 이격량인 Local Shift와 Boresight Angle을 결정하여야 하는데 이 두 가지 이격량을 Boresight Misalignment라고 하며, 이를 결정하기 위한 일련의 과정을 Boresight Calibration 이라고 한다(Mohamed, 2001).

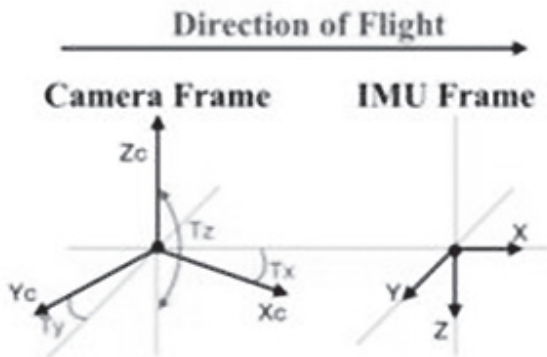


Fig. 1. Camera/IMU boresight

디지털 카메라와 GPS/INS 등 여러 가지 센서를 통합하여 운영하는 최근의 공간정보 획득 방법에서 통합센서의 Boresight Calibration은 항공삼각측량이나 Direct Georeferencing을 사용하는 작업에 있어서 중요한 과정이다.

사진측량에 사용되는 카메라는 초점거리, 렌즈 왜곡량, PPA, PPS 등 물리적인 내부요소를 파악하는 것이 매우 중요하다. 빛이 지표면에 반사된 후 렌즈를 통해 필름이나 센서에 투영되는 사진 및 영상은 카메라의 고유한 물리적 요소들의 산술적 관계에 의해 지표면을 이해할 수 있는 정보

를 포함하고 있다. 이때 필요한 카메라의 물리적 요소들은 Self Calibration을 통해 계산할 수 있으며, 항공사진측량에 사용되는 카메라는 매우 정확한 정보로 제공되고 있다. 그러나 항공사진 각각의 위치와 자세정보를 취득하는 통합센서를 운영하는 경우 카메라와 GPS 및 INS에 대한 각각의 특징과 센서 상호간 미치는 영향을 정확하게 이해하여야 한다. 이를 위해 Boresight Calibration으로 INS에 대한 회전량의 차이를 획득한다.

INS를 설치하면 카메라와 INS 좌표계의 방향이 정확하게 일치하지 않는데 이를 Boresight Angle 또는 Boresight Misalignment라고 한다. Boresight Angle은 INS로 측정된 회전각도를 카메라의 외부표정요소로 사용할 때 오차 요인이 되므로 이를 미리 측정하여 GPS/INS 자료를 처리할 때 적용하여야 정확하게 계산될 수 있다(Yoon, 2008).

Direct Georeferencing이 가능한 통합센서에서는 GPS/INS를 통해 각 사진에 대한 자세정보를 직접 계산할 수 있기 때문에 보다 정확한 자세정보를 즉시 획득할 수 있도록 정밀한 시스템 정보가 요구되면서 Boresight Calibration은 매우 중요하다.

Frame 방식에서 Boresight Calibration을 하기 위해서는 서로 이웃한 코스에서 반대 방향으로 항공사진을 촬영해야 하며, 사진 모델 당 4개의 지상기준점을 배치하여야 한다 (Hahm and Chang, 2009). 그러나 지상기준점에 일치시켜 모델을 구성하도록 항공사진을 촬영하고 그에 따라 모델을 구성하는 것은 매우 어렵다. 반면 지상기준점을 각 코스에 중복되는 지점과 코스의 최외곽에 지상기준점을 배치하는 방법은 쉽게 구성할 수 있다. 예컨대 동-서, 서-동 방향으로 4코스 촬영한 항공사진에 대해서는 1, 4코스 외곽과 1-2코스, 2-3코스, 3-4코스 중복되는 지점으로 총 5코스의 지상기준점 선점하여야 한다. 또한 Boresight Calibration 능력의 안정성 및 정확도를 향상시키기 위해 코스 양 끝단에 서로 반대 방향이면서 촬영코스의 직각방향으로 코스를 추가할 수 있다(Seo et al., 2012). 그 후 지상기준점을 이용해 항공삼각측량하고 조정된 영상좌표와 지상기준점, GPS/INS 처리 데이터를 이용하여 Misalignment를 계산한다. Boresight Calibration은 항공삼각측량을 통해 계산되는 외부표정요소 및 항공사진 각각의 이미지 좌표와 더불어 GPS/INS로 획득하는 궤도정보 등을 종합 분석하여 Boresight Misalignment를 계산하는 과정이다. 이때 지상기준점을 활용하여 항공삼각측량을 수행하게 되는데, 촬영되는 스트립 내 모든 모델마다 기준점을 선점하게 되고 그에 따른 지상기준점의 수와 배치에 따라 결과가 달라진다. 이처럼 지상기준점 수와 항공사

진의 모델 구성에 따른 항공삼각측량의 영향을 위해 Frame 방식의 항공측량 카메라를 이용하여 실험하였다.

이에 따라 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 Boresight Calibration에 사용되는 지상기준점의 수를 변화시키면서 항공삼각측량을 수행하고 각각의 결과를 이용하여 Boresight Misalignment를 계산하였다. 이를 통해 캘리브레이션에 필요한 최소한의 지상기준점의 수와 분포를 분석하고 지상기준점의 수에 따른 Boresight Misalignment의 변화량과 지상기준점이 Boresight Calibration에 미치는 영향으로 Direct Georeferencing에서 어떤 결과로 나타나는지 연구하였다.

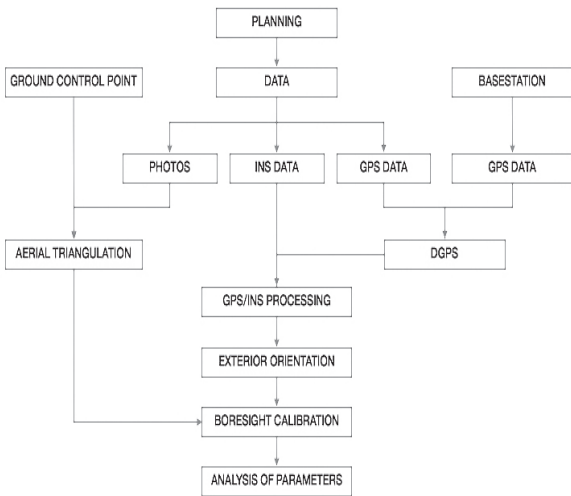


Fig. 2. Study flow

## 2. 자료처리

### 2.1. 자료취득

본 연구에서 실험에 사용한 카메라와 GPS/INS는 Intergraph사의 DMC(Digital Mapping Camera)와 Applanix사의 POS/AV510이며, 세종시 내에 테스트베드를 구축하여 실험에 필요한 사진 및 기준점 자료를 취득하였다. 코스는 Fig. 3과 같이 1,000m 고도에서 동서방향으로 4코스 설계하여 52매의 사진을 촬영하였으며, 블럭의 안정성 및 정확도 향상을 위해 양 끝단에 1,500m 고도에서 남북방향으로 2코스를 배치하여 16매의 사진을 촬영하였다. 사진은 중중복도 60%, 횡중복도 40%로 촬영하였다. 또한 항공사진 촬영 시 이동국 DGPS 측위를 위해 촬영지역 내 GPS 기준국을 설치하여 1Hz 간격으로 관측하였다.

항공삼각측량을 위한 지상기준점은 Fig. 4와 같이 9개씩 5코스로 배치하여 총 45개를 선점하였으며 GPS Static 방법

로 관측하였다. GPS 수신은 15초 간격으로 8시간 관측하여 2cm 수준의 평면오차를 확보하였으며, 수준측량은 직접수준측량 방법으로 2급 공공수준점에 준하도록 관측하였다. 이를 통해 지상기준점의 정확도를 허용오차 2~3cm 이내로 확보하였다.

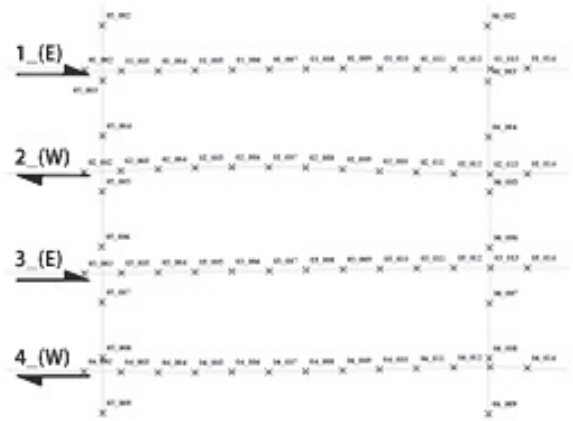


Fig. 3. Flight path and principal point

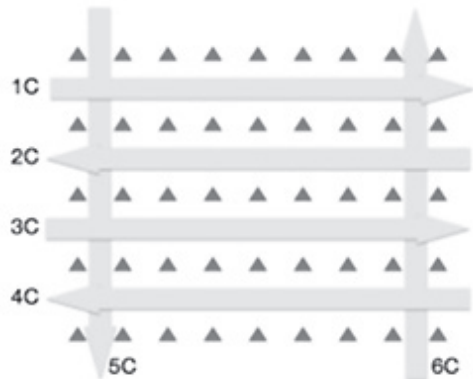


Fig. 4. Disposition of ground control point

### 2.2. 자료처리

GPS 이동측위는 항공기와 지상기준국에서 수신한 GPS 자료를 처리하여 항공기에 설치된 GPS 안테나의 위치를 결정하는 과정이다(Yoon, 2008).

GPS/INS 처리는 항공기와 지상기준국의 GPS 자료를 처리하여 항공기의 위치와 자세정보를 정확하게 계산하는 것이다. 항공기의 GPS 데이터와 지상기준국의 절대좌표를 이용해 후처리 하고 INS 데이터를 결합한 사진촬영 순간 센서의 위치와 자세정보를 계산하여 외부표정요소를 계

산한다. GPS 데이터 처리는 Applinix 사의 POSpac MMS 6.2를 사용하였다. 본 소프트웨어에 포함된 CalQC를 활용하여 Boresight Calibration을 수행하였으며, 그 결과 INS의 Boresight Angle과 Local Shift를 계산하였다.

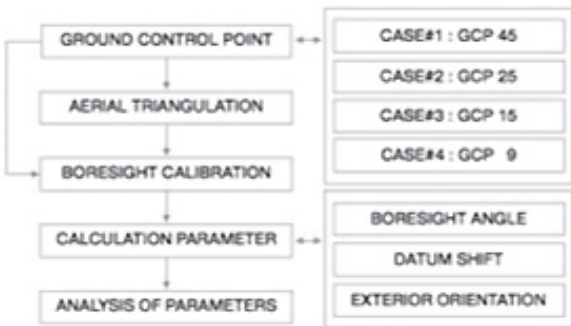


Fig. 5. Data processing diagram

본 연구에서는 항공삼각측량과 Boresight Calibration에 사용되는 지상기준점의 수에 따라 Fig. 5와 같이 실험을 4가지로 구분하였다. 우선 45개의 모든 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량하고 이에 따른 영상좌표를 이용한 Boresight Calibration을 통해 Boresight Angle인 Tx, Ty, Tz와 Local Shift인 X, Y, Z를 Fig. 6과 같이 계산하였다. 이 값을 GPS/INS 처리에 적용하여 외부표정요소를 계산하였다. 이와 같은 방법으로 지상기준점의 수를 25, 15개, 9개로 줄여가면서 반복적으로 실험하였다.

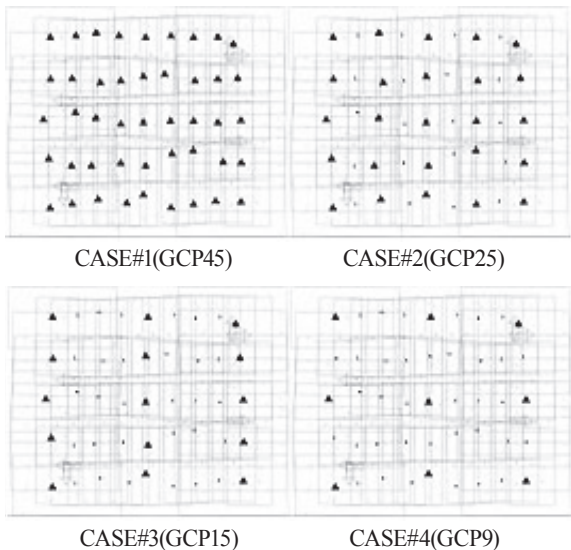


Fig. 6. Condition and distributed GCP

항공삼각측량에는 BAE SYSTEMS 사의 Socet Set을 사용하였고 45개의 지상기준점을 모두 적용하여 지상기준점과 결합점을 관측하였다. Case#1은 본 연구에서 기준이 되는 경우로 지상기준점 45개를 모두 사용하고 Case#2는 25개, Case#3은 15개, Case#4는 9개를 사용하여 실험하였다. Case 별 점의 위치와 배치는 Fig. 6과 같다.

### 2.3. 자료처리결과

항공삼각측량에서 지상기준점 및 접합점에 대한 관측정확도는 0.268 픽셀이었으며, 지상기준점 45개, 25개, 15개, 9개를 이용한 각각의 항공삼각측량 결과는 Fig. 7과 같다. 특히 지상기준점 45개를 이용한 항공삼각측량 결과 지상기준점의 변화량을 최소제곱오차(RMSE)로 계산하였으며 X, Y, Z는 각각 0.024m, 0.024m, 0.023m였다. 그러나 9개의 지상기준점을 이용한 결과에서는 다른 조건보다 조금 더 낮은 최소제곱오차가 계산되었으나 그 차이는 1cm 이내로 미미하였다. 이와 같이 실험별로 균일한 항공삼각측량 성과를 획득함으로써 지상기준점과 접합점에 대한 관측 차이가 Boresight Calibration 결과에 미치는 영향이 최소화되도록 하였다.

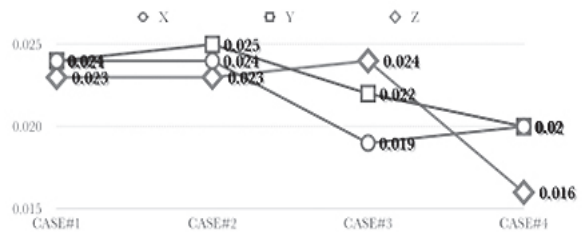


Fig. 7. The result of aerial triangulation in condition

Boresight Calibration을 위해 사용하는 CalQC에서는 카메라와 GPS/INS의 물리적인 정보에 영상좌표로 변환된 항공삼각측량 성과와 지상기준점 및 GPS/INS 데이터의 처리 결과를 사용하는데, 이때 항공삼각측량에서 사용된 지상기준점만을 적용하였다. 이처럼 각각의 실험에서 항공삼각측량 성과는 영상좌표 포맷으로 변환하였다.

### 3. 분석

지상기준점의 수에 따라 4가지 Case로 구분하여 Boresight Calibration 하였다. 지상기준점을 45개, 25개, 15개 사용한 CASE#1, CASE#2, CASE#3의 경우 코스의 상하 최외곽과 모든 코스의 중복된 지점에 선점 한 것으로 한 코



스에 9개, 5개, 3개의 지상기준점을 사용하여 코스별 지상기준점의 수에 따른 변화를 분석하였다. 또한 CASE#3과 비교하여 코스 상하 최외곽과 중앙의 1코스에 3개의 기준점을 배치한 CASE#4의 경우를 비교하여 지상기준점 배치에 의한 영향을 분석하였다.

3.1. CASE#1, CASE#2, CASE#3

Table 1에서 각각의 Bore-sight Angle과 Local Shift를 계산하였으며 지상기준점의 수에 따른 결과를 비교하였다. Bore-sight Angle의 경우 1/100 arcmin 이내의 차이를 보였고 (Fig. 8) Local Shift의 경우 1cm 이내의 차이를 보였다.

Table 1. Bore-sight misalignment of the bore-sight calibration

CONDITION	Bore-sight Angle			Local Shift		
	Tx	Ty	Tz	X	Y	Z
CASE #1	0.2286	-0.4154	0.6291	0.4468	-0.1332	-0.4966
CASE #2	0.2293	-0.4154	0.6227	0.4447	-0.1324	-0.4975
CASE #3	0.2376	-0.4128	0.6169	0.4422	-0.1288	-0.4903
CASE #4	0.2380	-0.4125	0.6122	0.4468	-0.1255	-0.4475

Bore-sight Calibration 결과에 따른 외부표정요소를 각각 계산하여 그림 Fig. 8 and 9과 같이 비교하였다. 45개의 지상기준점을 사용한 CASE#1을 기준으로 각각의 차이를 계산하였다. Fig. 8과 같이 외부표정요소의 dX, dY의 경우 1cm 내이 차이로 지상기준점의 수가 감소하여도 큰 변화를 보이지 않으나 dZ의 경우 지상기준점을 25개, 15개로 줄일수록 차이는 커졌다.

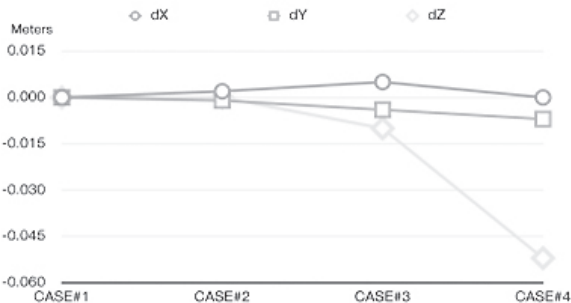


Fig. 8. dX, dY, dZ of the EO

Misalignment에서는 지상기준점의 수에 따른 차이를 크게 보이지 않으나 그 값을 이용해 외부표정요소로 계산되면

변화량이 급격하게 커지는데, 특히 dZ와 dK 같이 수직위치와 회전량의 경우 지상기준점의 영향을 크게 받고 있다. 또한 Local Shift 값만큼 외부표정요소에서 X, Y, Z 방향으로 그 값만큼씩 Shift가 더해졌지만 회전량의 경우 각각의 영향으로 일정한 변화량의 특징이 없었다.

외부표정요소 회전량의 경우 지상기준점의 수가 감소할수록 CASE#1의 값과 비교해 변화하는 폭이 커졌다(Fig. 9). 특히 dK는 지상기준점이 감소할수록 매우 큰 변화량이 보였으나 CASE#1과 CASE#3을 비교해 그 차이는 1초 이내였다.

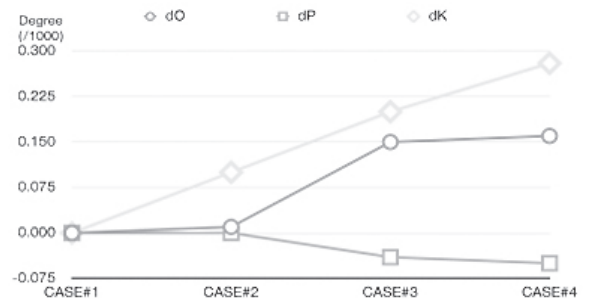


Fig. 9. dO, dP, dK of the EO

모든 코스의 사진에 지상기준점을 설치하여 Bore-sight Calibration 하면 그 수에 따른 영향이 크지 않아 보인다. 이 결과로 높은 수준의 정확도와 모든 코스의 사진을 고정시킬 수 있는 지상기준점을 사용하는 것만으로 효과적으로 Bore-sight Calibration 할 수 있었다.

3.2. CASE#3, CASE#4

코스별 지상기준점의 수를 동일하게 하고 항공사진 코스에 따라 지상기준점의 배치를 다르게 한 CASE#3과 CASE#4의 경우 Table 1과 같이 Bore-sight Angle과 Local Shift에서는 큰 차이가 없었다. 그러나 외부표정요소를 비교한 경우 Z값의 크기와 회전량에서 차이를 보였는데 그 차이는 미비하지만 다른 요소에 비해서는 크게 나타났다.

이에 따라 Bore-sight Calibration은 모든 사진의 코스와 최외곽을 고정시킬 수 있도록 지상기준점을 배치하는 것이 중요하며 이 결과는 Direct Georeferencing에 매우 중요하게 작용한다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

최근 항공사진디지털카메라와 GPS/INS의 통합센서를 통해 Direct Georeferencing를 활용하는데 있어 지상기준점의

수의 변화에 따라 Boresight Calibration을 수행해 보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 코스별로 선점된 지상기준점의 정확도가 동일한 경우 Boresight Calibration을 통한 Misalignment Angle과 Local Shift는 변화량은 크지 않았으며, Local Shift의 경우 외부표정요소로 계산 될 때 그 값이 더해졌다.

둘째, 지상기준점을 모든 코스에 배치한 경우 Boresight Calibration을 통해 계산한 값들의 차이가 크지 않았고, 지상기준점이 없는 코스가 존재할 경우 그 차이는 크게 나타났다.

셋째, Boresight Calibration 수행 시 촬영 코스의 최외곽과 중복되는 모든 코스에 2모델 간격으로 지상기준점을 배치하고 있으나, 본 연구를 통해 4모델 간격으로 지상기준을 선점하여도 일정한 수준의 결과를 획득할 수 있었다.

본 연구를 통해 지상기준점이 Boresight Calibration에 미치는 영향을 알아보았고 이에 따른 외부표정요소의 변화를 파악할 수 있었다. 본 연구에서는 매우 정밀하고 높은 수준의 정확도를 갖고 있는 지상기준점을 활용하였으나, 향후 지상기준점의 정확도가 Boresight Calibration과 그에 따른 외부표정요소에 미치는 영향에 대해 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2012년도 인덕대학교 교내학술연구 사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- Mostafa, M. M. (2001). Boresight calibration of integrated inertial/camera systems, In Proc. *International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation-KIS*, pp. 440-445.
- Yoon, J. S. (2008), *GPS/INS Aerotriangulation Using Interpolated CORS Observations*, Ph.D. dissertation, Inha University, Incheon, Korea, 185p. (in Korean with English abstract)
- Hahm, C. H., and Chang, H. J. (2009), 3D positioning accuracy estimation of DMC in compliance with introducing high resolution digital aerial camera, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 1, pp. 743-750. (in Korean with English abstract)
- Seo, S. I., Won, J. H., Lee, J. O. and Park, B. U. (2012), Geometric calibration of digital photogrammetric camera in Sejong test-bed, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 2, pp. 181-188. (in Korean with English abstract)