Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 33, No. 5, 397-405, 2015
http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.397

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

무인항공사진측량 방법에 의한 수치지도 갱신

Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods

임수봉[1)] · 서춘욱[2)] · 윤희천[3)]
Lim, Soo Bong · Seo, Choon Wook · Yun, Hee Cheon

Abstract

Currently, Korea's digital maps are being produced through traditional aerial photogrammetry methods. Aerial photogrammetry is the most economical way to produce a map of a wide area. However, timely survey is not allowed depends on weather condition and it is inefficient for small area surveying in economic point of view. Therefore, it costs too much and needs long time to produce a map for various small areas where are terrestrial changes for updating the map. In contrast, UAV photogrammetry is possible to work even in cloudy weather because of shooting at low altitude below the clouds. It also has excellent mobility and shoot quickly and well suited for small-scale mapping in several places by low cost. In this study, we produced an ortho-photo and digital map with the UAV photogrammetry method using SIFT and SfM algorithm and verified its accuracy to evaluate the applicability for future digital map updates. The accuracy was verified by comparing the results of the ground survey for check points selected on the digital map. Test results show small errors at ±2.6cm in X coordinates, ±2.8cm in Y coordinates and ±5.8cm in height and we could find a possibility that UAV photogrammetry would be fully applicable for digital map updating.

Keywords : Digital Map Updates, UAV Photogrammetry, SIFT, SfM

초 록

현재 우리나라의 수치지도는 전통적인 항공사진측량 방법을 통해 제작되고 있다. 항공사진측량은 넓은 지역에 대한 지도를 제작하는데 가장 경제적인 방법이다. 그러나 기상 등의 영향으로 적기 측량이 어렵고 측량 면적이 좁은 경우에는 경제성 측면에서 비효율적이다. 따라서 전국에 산재된 소규모의 지형변화지역을 일일이 촬영하여 지도를 갱신하기에는 시간과 비용 면에서 어려움이 크다. 이에 반해 무인항공사진측량은 구름 아래의 저고도에서 촬영하므로 흐린 날씨에서도 작업이 가능하다. 또한 이동성이 우수하고 촬영이 신속하며 측량비가 저렴하여 여러 군데에 산재한 소규모 지도제작에 매우 적합하다. 따라서 본 연구에서는 SIFT와 SfM 기법을 사용한 무인항공사진측량 방법으로 소규모 지형에 대한 정사영상과 수치지도를 제작하고 그 정확도를 검증함으로써 향후 수치지도 갱신에의 적용 가능성을 실험하였다. 제작한 수치지도의 정확도는 검사점에 대한 지상측량 성과와 비교하여 검증하였다. 검증 결과, 수치지도의 좌표는 실측좌표와 비교하여 평균제곱근 오차가 X방향으로 ±2.6cm, Y방향으로 ±2.8cm, 수직방향으로 ±5.8cm의 범위에 들어 무인항공사진측량이 수치지도 갱신에 충분히 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

핵심어 : 수치지도 갱신, 무인항공사진측량, SIFT, SfM

Received 2015. 09. 24, Revised 2015. 10. 03, Accepted 2015. 10. 15

1) Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: yimsp77@naver.com)
2) Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: seochoonwook@naver.com)
3) Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University (E-mail: hcyoon@cnu.ac.kr)

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. 서 론

최근 휴대전화, 인터넷 포털 또는 내비게이션 등 각종 매체를 통해 제공되는 지도정보와 위치기반서비스의 이용이 대중화됨에 따라 그 기반이 되는 수치지도의 최신성 확보에 대한 요구가 날이 갈수록 높아지고 있다. 이에 대응하기 위하여 국토지리정보원에서는 2013년부터 국가기본 전자지도 상시수정 체계를 도입하여 지도를 수정하고 있다. 아울러 보다 신속한 지도수정을 위해 건설공사의 준공도면을 수치지도 갱신에 직접 활용하는 방안도 강구하고 있다. 그러나 전국의 공사정보를 빠짐없이 수집했다 하더라도 그 규모가 다양하고 위치가 분산되어 있으므로 지도 갱신을 위하여 모든 해당지역에 대해 항공사진측량을 실시하는 것은 매우 비효율적이다. 건설공사 준공도면을 활용하는 방안 역시 수치지도수정용 건설공사의 준공도면 작성에 관한 지침은 마련되어 있으나, 도면 작성에 관한 세부내용만 규정되어 있을 뿐 지도 수정에 관한 구체적 방법이나 절차 등은 규정되어 있지 않은 실정이다. 또 다른 대안으로 위성영상을 이용하여 지도를 갱신하는 방안도 있으나 이는 영상의 해상도가 떨어지므로 정밀지도를 제작하기에는 적합하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 무인항공사진측량(UAV Photogrammetry, Eisenbeiss, 2011)을 이용하여 수치지도를 제작하거나 갱신하는 방안을 제시하고자 한다. 무인항공사진측량은 GPS와 IMU(Inertial Measurement Unit)가 탑재된 무인항공기를 이용하여 촬영한 영상을 처리하여 DEM(Digital Elevation Model)과 정사영상을 제작하고, 이를 도화하여 수치지도를 제작하는 측량기법이다.

무인항공사진측량은 구름 아래의 저고도에서 촬영하므로 흐린 날씨에서도 작업이 가능하다. 또한 이동성이 우수하고 촬영이 신속하며 측량비가 저렴하여 여러 군데에 산재한 소규모 지형측량에 매우 적합하다. 국내의 경우, Jung *et al*.(2009, 2010)은 무인헬기에 캐논 디지털 카메라를 탑재하고 500m 고도에서 영상을 취득하고 기존의 항공사진측량 기법으로 수치지도를 제작한 결과, X방향으로 19.2cm, Y방향으로 24cm 오차범위의 성과를 확인하고, 1/5,000지도의 제작이 가능함을 검증하였다. 이어 Kim *et al*.(2014)은 무인항공사진측량을 통해 제작한 정사영상의 위치정확도가 수평으로 10cm이내임을 검증하여 영상지도 작업규정에 따라 1/1,000축척의 영상지도 제작이 가능함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 무인항공사진측량 방법으로 소규모 지형에 대한 정사영상과 수치지도를 제작하고 그 정확도를 검증함으로써 향후 수치지도 수정에의 적용 가능성을 실험하였다. 정확도 검증은 지상측량 방법으로 검사점 성과와 비교하고, 수치지도는 기존 지도와의 중첩비교를 통해 수행하였다.

2. 무인항공사진측량 기법

2.1 무인항공사진측량에 이용되는 영상처리 기법

무인항공사진측량에서 사용되는 모형 항공기는 바람에 취약하여 자세각의 변화가 심하고, 일반카메라를 사용하므로 영상왜곡이 크게 나타난다. 또한 저가의 MEMS(Micro Electronic Mechanical System) GPS/IMU에 의해 취득되는 외부표정요소가 부정확하므로 전통적인 항공사진측량 방법으로는 영상을 처리하기가 어렵다. 따라서 무인항공사진측량에서는 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)기법과 SfM(Structure from Motion)기법을 이용하여 외부표정요소와 관계없이 자동으로 영상을 정합하고 포인트 클라우드를 생성하여 DEM과 정사영상을 제작하는 기술이 적용된다. SIFT는 영상데이터를 국부적 축척불변의 특징점으로 변환하는 기법으로 다음의 처리과정을 거쳐 영상을 정합한다. 먼저 영상 피라미드에 의한 스케일 공간에서 영상의 밝기가 지역적으로 극대 또는 극소인 후보 특징점을 추출하고, 명암비가 낮은 특징점을 필터링하여 영상정합에 사용할 특징점을 선별한다. 두 번 째 단계로 선택된 특징점들을 중심으로 주변 영역의 그래디언트(gradient)를 통해 방향성분을 얻고, 얻어진 방향성분을 중심으로 관심영역을 재설정하여 특징점의 크기를 검출하여 서술자를 생성한다. 이렇게 특징점의 추출과 서술이 완료되면 서술자를 이용하여 두 개 영상에 있는 공통된 특징점을 자동으로 정합한다(Lowe, 2004). 이와 같이 SIFT는 축척과 회전에 불변할 뿐 아니라 명암변화 및 카메라 노출점의 변화에도 불변하기 때문에 경사각이 큰 UAV 영상의 정합에 가장 적합한 방법이다(Bazaretti *et al*., 2010). 따라서 외부표정요소의 정확도와 관계없이 유효면적이 작은 대량의 사진을 고속으로 정합함으로써 UAV 촬영의 단점을 보완할 수 있다. SfM 기법은 SIFT에 의해 정합된 영상을 고차적으로 번들조정 하여 대상물과 카메라의 위치관계를 동시에 복원하여 3차원 포인트 클라우드를 생성하는 기술이다(Snavely *et al*., 2006). 전통적인 항공사진측량과 달리 외부표정요소 또는 지상기준점 좌표가 없이도 카메라의 자세와 영상기하를 재구성한다. 이렇게 하여 생성된 초기 포인트 클라우드는 점밀도가 낮아 지형을 정밀하게 표현할 수 없으므로 Photoscan에서는 고유의 보간 기법을 적용하여 고밀도의 포인트 클라우드로 변환한다. 그러나 SfM기법으로 생성된 포인트 클라우드는 대상물과 카메라 간의 상대좌표 체계이므로 지상기준점

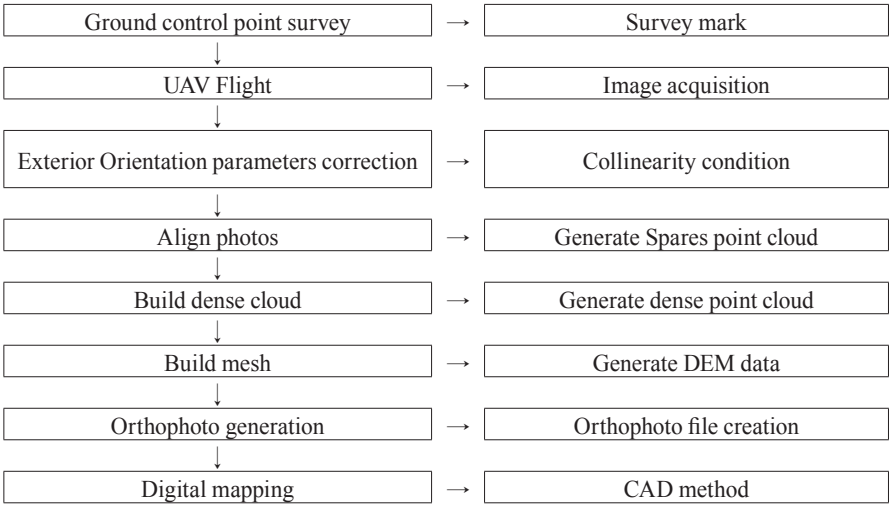


Fig. 1. Work flow of UAV photogrammetry using Photoscan software

좌표를 이용하여 절대좌표로 변환하여 DEM을 생성하고, 이를 바탕으로 정사영상을 제작한다(Westoby *et al*., 2012). 이와 같은 일련의 과정을 정리한 무인항공사진측량의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

3. 수치지도 갱신 실험

3.1 대상지 선정

수치지도 갱신실험을 위하여 경상북도 경산시 조영동의 일부지역을 선정하였다. 이곳은 지난 수년간에 걸쳐 농지가 주택지로 변화하는 등 소규모의 지형변화가 꾸준히 발생된 지역이다. 그럼에도 불구하고 지난 2007년도에 수치지도가 제작된 이후 아직까지 수정이 이루어지지 않고 있어 무인항공사진측량을 이용한 수치지도 갱신 연구에 가장 적합하여 선정하게 되었다.

3.2 비행체 선정

무인항공기는 고정익과 회전익 UAV로 분류된다. 고정익 UAV는 작업속도가 빨라 넓은 면적의 촬영에 유리한 반면, 이·착륙을 위한 최소한의 공간이 필요하며 비행안전 상 100m 이하의 고도로는 비행이 불가하므로 일반적으로 150m 촬영고도에서 GSD 5cm 내외의 영상을 얻는데 사용된다. 반면, 회전익 UAV는 이·착륙 공간이 필요 없고 저고도 비행이 가능하므로 50m 고도에서 GSD가 1cm인 초정밀 영상의 취득이 가능하다. 그러나 작업속도가 느려 넓은 면적의 촬영에는 부적합하며 기체가 무거워 휴대성이 떨어지고 고정익에 비해 기체의 안전성이 떨어지는 단점이 있다. 본 실험에서 대상지의 면적은 약 2㎢로 고정익의 경우 비행회수가 4회인 반면 회전익의 경우에는 14회의 비행이 예상되었고 촬영 지역이 인근 대구공항의 접근항로 상에 위치하고 있어 저공으로 비행하는 항공기가 많아 신속한 촬영이 요구되므로 고정익 UAV를 사용하기로 결정하였다. 촬영에 사용된 고정익 UAV는 스웨덴 SmartPlanes사에서 제작한 SmartOne모델로 전체 시스템은 Fig. 2와 같이 GPS/IMU, 카메라 및 자체 개발 자동항법장치

Fig. 2. SmartOne UAV system

가 탑재된 기체와 지상 콘트롤 시스템 (GCS; Ground Control System)으로 구성된다. SmartOne 시스템에서 사용하는 GCS는 기체를 제어하고 자동비행계획을 수행하는 GCS소프트웨어와 촬영 품질을 검사하기 위하여 현장에서 간이 모자이크 작업을 자동으로 수행하는 Aerial Mapper 소프트웨어로 구성된다.

3.3 렌즈 검정

카메라는 캐논 S95모델을 사용하였다. 이 카메라는 1,000만 화소에 초점거리가 6mm인 디지털 카메라로 본 실험의 경우 170m 비행고도에서 촬영하면 GSD가 5.2cm인 정밀영상을 얻을 수 있다. 항공사진측량과 마찬가지로 무인항공사진측량에서도 렌즈의 왜곡보정을 위해 렌즈 검정을 수행한다. 영상처리 소프트웨어 패키지의 렌즈 검정 모듈에서 제공되는 카메라 검정시트를 컴퓨터 화면에 띄워 촬영하고, 영상에 나타난 검사점과 실제 검사점의 거리차를 이용하여 렌즈 왜곡량을 계산한다. 그러나 이 방법은 간이 검정 방법으로 신뢰도가 떨어지므로 본 연구에서는 이를 사용하지 않았다. 본 연구에서는 일반 카메라의 렌즈 왜곡을 보완하기 위해 지상기준점 수를 2배로 늘리고 왜곡이 적은 렌즈 중심부의 영상만을 사용하여 정사영상을 제작하였다. 이를 설명하기 위하여 Fig. 3에 SmartPlanes사에서 제공하는 Aerial Mapper 소프트웨어를 이용하여 촬영 직후 현장에서 수행한 신속 모자이크 영상을 나타내었다. 각 사진의 중앙에 표시된 점은 사진의 주점을 나타낸다. 모자이크 영상에서 1장의 사진이 나타낸 유효면적은 약 30 x 30m로, 원본 사진의 촬영면적이 약 200 x 140m인데 비해 실제 영상처리에 사용된 면적은 전체 면적의 3.2%에 불과함을 알 수 있다. 이와 같이 무인항공사진측량에서는 상대적으로 왜곡이 적은 렌즈 중심부의 최소 영상만을 사용함으로써 일반카메라의 단점을 보완할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 3의 모자이크 영상은 Aerial Mapper에 의해 자동으로 처리된 것으로 주 처리 소프트웨어인 Photoscan도 이와 동일한 방법으로 렌즈 중심부의 최소 영상만을 이용하여 처리하는지에 대한 명확한 근거는 찾을 수 없었다.

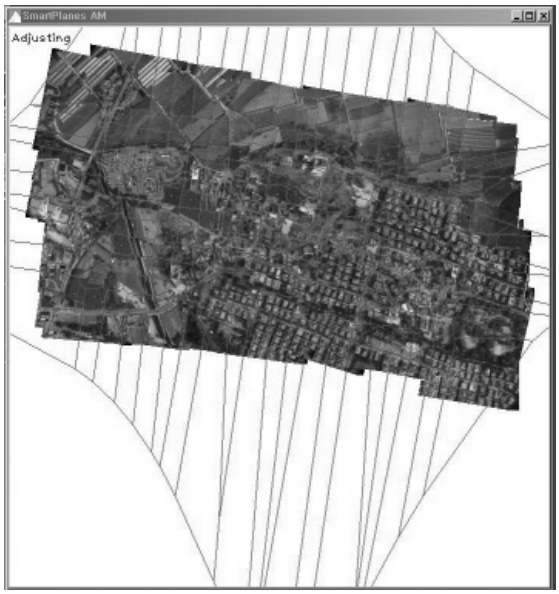


Fig. 3. Rapid mosaic ortho image with Aerial Mapper software

3.4 촬영 및 지상기준점 측량

촬영 지역이 대구공항 인근에 위치한 관계로 무인기의 비행을 위해서는 공항 당국으로부터 비행허가를 받아야 했다. 촬영 당일 공항 관제탑의 협조 하에 항공기 운행이 없었던 오전 6시부터 7시30분까지 비행시간을 할당받아 약 1시간 30분간 비행하여 촬영하였다. 대상면적은 2㎢로 4회의 비행을 통해 총1,478매의 사진을 취득하였다. 촬영고도는 170m이며 중복도는 80%를 설정하였다. 대상지가 도시지역이므로 대공표지를 설치하지 않고 Fig. 4와 같이 도로 차선이나 주차 구획선 등 페인트 도색부분의 모서리 점을 지상기준점으로 이용하였다. 무인항공사진측량에서는 일반적으로 1㎢ 당 10점 내외의 지상기준점을 사용하는데 비해, 본 실험에서는 정확도가 높은 수치지도의 제작을 위해 2㎢의 면적에 대하여 30점의 지상기준점을 사용하였다. 지상기준점 측량은 네트워크 RTK 방법으로 수행하였다.

Fig. 4. Ground control point survey

3.5 정사영상 제작

정사영상은 SfM 알고리즘이 적용된 Agisoft사의 PhotoScan Professional 버전을 사용하여 제작하였다. 본 소프트웨어의 사용자 매뉴얼 등에는 SIFT, SfM, 등과 같은 특정한 영상처리 기법에 관한 내용이 기술되어 있지 않다. 그럼에도 불구하고 PhotoScan은 SfM 기법에서 일반적으로 사용되는 파라미터를 사용하고 그 처리순서를 그대로 따르고 있음을 알 수 있다(Verhoeven, 2011; Doneus *et al*., 2011). Photoscan은 스틸사진을 이용하여 전문가 수준의 3D 모델링을 수행할 수 있는 소프트웨어로 불규칙하게 촬영된 영상도 처리할 수 있는 것이 가장 큰 특징이다. 따라서 어느 위치에서 촬영 하더라도 한 쌍의 입체사진만 있으면 영상처리가 가능하며 영상정렬과 3D 재구성 과정이 완전히 자동으로 수행된다. Photoscan에서는 다음의 3단계를 거쳐 정사영상을 생성한다. 첫 번째 단계는 영상을 정렬하는 것이다. 먼저 촬영영상을 Photoscan으로 불러오면, 영상에 등록된 좌표를 이용하여 영상을 해당위치에 미리 배열시키고 중복되는 사진에서만 SIFT 특징점을 매칭하여 빠른 속도로 영상을 정합한다. 또한 각 영상에 대한 카메라의 위치를 추정할 뿐 아니라 카메라에 대한 캘리브레이션 파라미터도 보정한다. 이를 이용하여 초기 포인트 클라우드를 생성하고 사진의 상대적인 위치를 재구성한다. 이 때, 모델에 좌표를 부여하기 위해서는 지상기준점을 이용할 수 있으며 요구되는 좌표계로 변환할 수도 있다.

두 번째 단계는 영상기하를 구축하는 것이다. 추정된 카메라의 위치와 사진정보를 이용하여 대상물 표면의 3차원 격자를 생성한다. 정밀도는 떨어지지만 신속하게 데이터를 처리하고자 할 경우에는 초기 포인트 클라우드 만을 이용하여 신속하게 영상기하를 생성할 수도 있다. 세 번째 단계는 텍스처 작업과 최종 성과물을 생성하는 것이다. 기하학적으로 격자를 구성한 다음에는 정사영상이나 DEM생성과 같은 최종 결과물의 시각적 품질을 향상하기 위하여 3D 모델을 텍스처로 처리한다.

Fig. 5. Spares point clouds

본 실험에서 PhotoScan Pro 소프트웨어를 이용하여 생성한 초기 포인트 클라우드, 고밀도 포인트 클라우드 및 정사영상 결과를 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에 각각 나타내었다. 영상을 처리하여 정사영상을 생성하기 까지는 불과 1일이 소요되었으나 보다 높은 정확도를 확보하기 위해 30점의 지상기준점 성과를 이용하여 정사영상 데이터를 보정하는데 1일이 추가로 소요되었다.

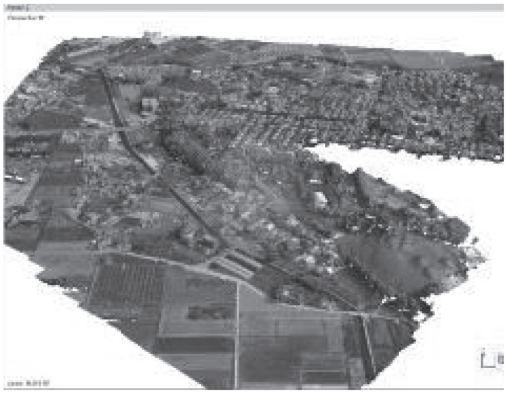


Fig. 6. Dense point clouds

Fig. 7. Orthophoto image by UAV photogrammetry

3.6 수치지도 제작

UAV의 GPS/IMU에 의해 취득한 외부표정 데이터를 보정하여 정확도를 높이면 UAV 영상도 항공사진측량과 같은 방법으로 입체시하여 수치지도를 제작할 수 있다. 그러나 UAV

영상은 항공사진에 비하여 사진매수가 월등히 많으므로 모든 영상을 일일이 입체시 하기에는 시간과 비용이 지나치게 많이 소요되는 문제가 있다. 본 실험 대상지의 경우 항공사진을 사용하면 단 2매의 사진으로도 입체시가 가능하겠지만, 본 촬영에서 취득한 1,478매의 무인항공사진을 일일이 입체시하는 것은 현실적으로 무리가 크다. 다른 방법 중 하나로 상용 소프트웨어를 이용하여 수치지도를 제작하는 방법도 고려해 볼 수 있다. 예컨대, 캐나다의 SimActive사에서 개발한 Correlator 3D 소프트웨어는 입체시 방법 대신 DSM 포인트 클라우드 상에서 비지면 자료를 제거하고 보간을 통해 DTM을 추출하여 건물 등의 외곽선을 추출하는 방법을 제시한다. 그러나 이 방법은 비고차가 큰 건물 등과 지면 사이의 구간에

Fig. 8. Updated digital map by UAV photogrammetry

Fig. 9. Existing digital map

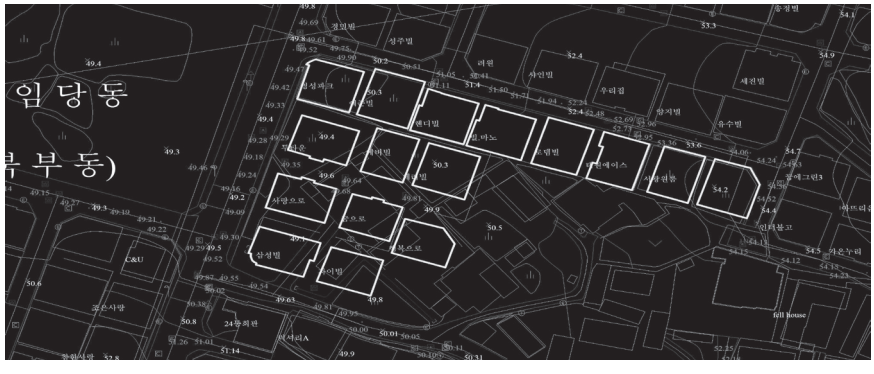


Fig. 10. Comparison between newly updated map and existing map

서는 표고오차가 존재하는 결점이 있다. 따라서 본 실험에서는 생성된 실감 정사영상을 이용하여 CAD방식으로 벡터지도를 직접 작성하였다. 상용 소프트웨어인 Global Mapper의 벡터라이징 모듈을 이용하여 정사영상에 나타난 지형지물의 외곽선을 따라 2D 폴리곤을 작도하고 표고점을 입력하여 수치지도를 작성하였다. 표고점은 해당위치에 대한 DEM표고를 입력하였으며, 오차가 발생된 부분에 대해서는 지상측량 성과를 이용하여 수정하였다. 이렇게 하여 작성된 수치지도를 기존 수치지도에 중첩하여 지형이 변화된 부분만을 수정하는 방식으로 수치지도를 갱신하였다. 본 연구는 수치지도 갱신을 위한 또 다른 방법으로서 무인항공사진측량의 적용성을 평가하는 목적에 국한하였으므로 수치지형도 작성 작업규정에 따른 세부도화 규칙 등은 적용하지 않았다. Fig. 8에 기존 수치지도를 보완하여 갱신한 수치지도를 나타내었으며, 기존 자료와의 비교를 위하여 Fig. 9에 현재 사용 중인 수치지도를 나타내었다.

갱신한 수치지도와 기존 수치지도를 중첩하여 비교한 결과, Fig. 10과 같이 굵은 선으로 표시된 부분의 지형이 현재는 정비가 잘 된 주택지로 변화되었음을 알 수 있다. 이는 본 연구의 주된 목적으로 수치지도의 수시 수정에 무인항공사진측량의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

4. 정확도 분석

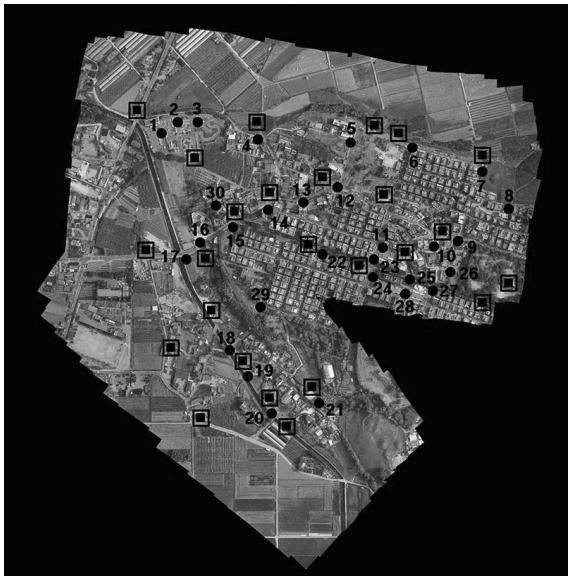
제작된 DEM과 정사영상에서 검사점을 선정하여 해당 점의 좌표를 추출하였다. 검사점은 식별이 용이한 도로의 코너

Table 1. Comparison between UAV photogrammetric survey and ground survey (unit : m)

Check point	UAV Photogrammetry results			Ground survey results			Differences		
	X Coord	Y Coord	Height	X Coord	Y Coord	Height	X Coord	Y Coord	Height
1	360900.056	176953.646	42.714	360900.012	176953.625	42.768	0.044	0.021	-0.054
2	360923.822	176979.648	42.753	360923.864	176979.639	42.711	-0.042	0.009	0.042
3	360927.121	177030.510	43.206	360927.155	177030.481	43.265	-0.034	0.029	-0.059
4	360883.506	177154.971	44.509	360883.531	177154.955	44.477	-0.025	0.016	0.032
5	360885.317	177318.361	51.724	360885.306	177318.376	51.705	0.011	-0.015	0.019
6	360882.749	177418.428	50.868	360882.725	177418.401	50.812	0.024	0.027	0.056
7	360830.331	177612.268	53.438	360830.304	177612.298	53.499	0.027	-0.030	-0.061
8	360748.488	177663.854	60.265	360748.462	177663.811	60.201	0.026	0.043	0.064
9	360677.758	177561.008	52.007	360677.766	177561.056	52.124	-0.008	-0.048	-0.117
10	360685.149	177510.764	50.977	360685.156	177510.715	50.905	-0.007	0.049	0.072
11	360659.597	177406.198	54.898	360659.584	177406.155	54.866	0.013	0.043	0.032
12	360783.989	177316.795	47.371	360783.971	177316.739	47.359	0.018	0.056	0.012
13	360765.192	177266.268	46.050	360765.232	177266.301	46.072	-0.040	-0.033	-0.022
14	360739.754	177182.992	46.536	360739.766	177182.969	46.502	-0.012	0.023	0.034
15	360707.626	177102.928	46.958	360707.612	177102.906	46.911	0.014	0.022	0.047
16	360667.383	177035.331	44.647	360667.356	177035.319	44.698	0.027	0.012	-0.051
17	360643.554	177001.281	44.549	360643.511	177001.276	44.599	0.043	0.005	-0.050
18	360511.471	177070.831	43.267	360511.468	177070.811	43.212	0.003	0.020	0.055
19	360445.733	177118.821	43.559	360445.761	177118.859	43.475	-0.028	-0.038	0.084
20	360335.221	177180.677	44.207	360335.209	177180.652	44.283	0.012	0.025	-0.076
21	360358.289	177273.857	52.471	360358.298	177273.831	52.401	-0.009	0.026	0.070
22	360655.126	177273.840	53.279	360655.102	177273.872	53.254	0.024	-0.032	0.025
23	360630.771	177380.607	57.466	360630.761	177380.636	57.473	0.010	-0.029	-0.007
24	360617.250	177388.444	57.653	360617.243	177388.456	57.614	0.007	-0.012	0.039
25	360591.663	177467.748	53.969	360591.689	177467.716	53.911	-0.026	0.032	0.058
26	360617.679	177541.531	51.804	360617.655	177541.516	51.897	0.024	0.015	-0.093
27	360575.393	177517.792	52.918	360575.361	177517.788	52.981	0.032	0.004	-0.063
28	360562.522	177454.560	57.259	360562.564	177454.539	57.294	-0.042	0.021	-0.035
29	360542.517	177161.527	56.349	360542.509	177161.505	56.394	0.008	0.022	-0.045
30	360744.002	177071.954	46.995	360744.036	177071.972	46.912	-0.034	-0.018	0.083
RMSE							0.026	0.028	0.058

점 등을 선정하였으며 그 위치도는 Fig. 11에 나타내었다. 특히 검사점의 3차원좌표는 Photoscan에 의해 제작된 DEM과 정사영상을 Global Mapper 소프트웨어 화면에 전개하여 해당 점을 선택하는 방식으로 추출하였으며, 오류의 최소화를 위해 주로 평탄지 위주로 추출하였다. 검사점의 정확도는 네트워크 RTK에 의한 지상측량 방법으로 해당 점의 좌표를 실측하여 두 성과를 비교하였다. 전체면적 2㎢에 대하여 수행한 총 30점의 검사점 측량결과를 Table 1에 나타내었다.

검사점 측량 결과 오차는 수평방향으로 최대 5.6cm, 수직방향으로 11.7cm가 발생되었으며, 평균제곱근 오차는 X방향으로 ±2.6cm, Y방향으로 ±2.8cm, 수직방향으로 ±5.8cm로 나타났다. 일반적으로 축척 1:1000수치지도의 허용오차 범위가 수평으로 ±70cm, 수직으로 ±33cm임을 감안할 때 (Yeu and Schenk, 2001), 무인항공사진측량 방법이 향후 수치지도의 갱신 등에 충분히 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.



● Check point
▣ Ground control point

Fig. 11. Check point and ground control point locations

5. 결 론

본 연구에서는 수치지도 갱신에 무인항공사진측량을 적용하고자 UAV로 취득한 영상을 처리하여 정사영상과 수치지도를 제작하고, 검사점 측량을 실시하여 정확도 검증을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 지난 수년 간 수치지도가 갱신되지 아니한 면적 2㎢의 소규모 지역에 대하여 무인항공사진측량 방법으로 제작된 정사영상을 도화하여 기존 수치지도와 비교한 결과, 과거 농경지였던 지역이 지금은 주택지로 변화하였음을 확인할 수 있었다. 또한, 촬영 및 영상처리 등에는 단 3일이 소요되어 촬영허가나 작업계획 및 이동시간 등을 고려하더라도 짧은 시일 내에 작업이 가능하므로 향후 지형변화가 발생된 소규모 지역의 수치지도 갱신에 대하여는 무인항공사진측량 기술을 적용해 볼 필요가 있다고 사료된다.

둘째, 측량용 카메라나 GPS/INS에 비해 정밀도가 크게 떨어지는 저가의 센서를 사용하더라도 150m 내외의 저공촬영을 통해 80% 이상의 중복도로 초정밀 영상을 취득하고, 왜곡이 적은 중심부 영상만을 사용하여 SfM 기술과 다수의 지상기준점 성과를 바탕으로 영상을 처리하면 높은 정확도의 DEM과 정사영상이 제작되고 이를 도화하면 수치지도의 갱신이 가능함을 확인하였다.

셋째, 무인항공사진측량 방식으로 작성한 수치지도의 정확도를 지상측량 방법으로 검증한 결과, 평균제곱근 오차가 X방향으로 ±2.6cm, Y방향으로 ±2.8cm, 수직방향으로 ±5.8cm 이내인 것으로 나타나 향후 수치지도의 갱신 등에 충분히 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

그러나 본 연구는 지형이 평탄하고 면적이 좁은 주택지에 한정하여 수치지도를 갱신한 실험 결과로, 향후 보다 넓은 지역이나 지형기복이 심한 산지 등에 대한 수치지도를 갱신하는데 적용하기 위해서는 보다 다양하고 심도 깊은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

References

Barazzetti, L., Remondino, F., Scaioni, M., and Brumana, R. (2010), Fully automatic UAV image-based sensor orientation, *Proceeding of ISPRS Commission I Mid-Term Symposium "Image Data Acquisition-Sensors & Platform"*, Vol. 12.

Doneus, M., Verhoeven, G., and Fera M. (2011), From deposit to point cloud - a study of low-cost computer

vision approaches for the straightforward documentation of archalogical excavations, *Geoinformatics, Vol. 6,* pp. 81-88.

Eisenbeiss, H. (2011), *The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping, Photogrammetrische Woche 2011, Dieter Fritsch(Ed.)*, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 135-145.

Jung, S.H., Lim, H.M., and Lee, J. K. (2009), Analysis of the UAV photogrammetric method using digital camera, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 6, pp. 741-747. (in Korean with English abstract)

Jung, S.H., Lim, H.M., and Lee, J.K. (2010), Acquisition of 3D spatial information using UAV photogrammetric method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 161-168. (in Korean with English abstract)

Kim, D.I., Song, Y.S., Kim, G.H., and Kim, C.W. (2014), A study on the application of UAV for Korean land monitoring, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 1, pp. 29-38. (in Korean with English abstract)

Lowe, D. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, pp. 1-28.

Snavely, N, Seitz, S.N., and Szeliski, R. (2006), Photo tourism: exploring image collections in 3D*, ACM Transaction on Gtaphics*, NewYork, pp. 1-12.

Verhoeven, G. (2011), Taking computer vision aloft-archacological three-dimensional reconstruction from aerial photographs with photoscan, *Archalogical Prospection*, Vol. 18, pp. 67-73.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., and Reynolds, J.M. (2012), Structure-from-motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology,* Vol. 79, pp. 300-314.

Yeu, B. M. and Schenk, T. (2001), *Modern Digital Photogrammetry*, Munundang Inc., Seoul.