

무인항공 사진측량을 이용한 고해상도 공간정보 취득 High Resolution Spatial Information Acquisition using UAV Photogrammetry

Young Sun Cho, Hyeong Min Lim, Surk Geun Choi, Sung Heuk Jung*

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Korea

Abstract

The object of paper is to acquire high-resolution spatial information based UAV photogrammetric method. UAV, GPS-equipped multicopter type, and DSLR camera were used in order to take UAV photography in study area located construction site. air-photo signal plates were installed in study area and ground control survey using network GPS method were applied for orientation and accuracy analysis. The flight plan was considered flight altitude and course to maintain overlap and side-lap, more 70% and 30%, respectively. The result of data was obtained digital ortho image(spatial resolution 2cm) and digital surface model(spatial resolution 5cm). The RMSE of x, y and z axis were calculated using accuracy analysis and application of survey field was observed to process contour map, profile map and calculating earth volume using high-resolution spatial information.

Key words: UAV photogrammetry, Digital ortho image, Digital surface model

국문초록

본 연구는 무인항공 사진측량기법을 이용하여 고해상도 공간정보를 취득하는 것을 목적으로 한다. 실험 대상 지역은 시공현장을 선정하였으며, 무인항공 사진촬영시스템은 GPS가 장착된 멀티콥터형 무인항공기와 DSLR 카메라를 이용하였다. 대상지역에 대공표지를 설치하고 Network GPS 측량방법으로 지상기준점 측량을 실시하였으며 표정 및 정확도 분석에 이용하였다. 항공사진은 종중복도 70%, 횡중복도 30% 이상을 확보할 수 있도록 비행 고도와 코스를 계획하여 촬영하였으며 사진측량 기법에 의해 공간해상도 2cm의 수치정사영상과 공간해상도 5cm의 수치표면모형을 취득하였다. 정확도 분석결과, X방향 2.29~3.75cm, Y방향 1.97~2.98cm, Z방향 4.92~8.48cm의 RMSE가 도출되었으며 취득된 고해상도 공간정보를 이용하여 대상지역의 등고선도, 종횡단도,

* Corresponding author. Tel. +82-43-261-2377. Fax. +82-43-275-2377 E-mail. idealharry@gmail.com

Submission & Publication Process

Received: Feb. 3, 2014 / Revised: Feb. 15, 2014 / Accepted: Feb. 17, 2014

시계열 분석 등을 수행함으로써 활용성을 분석하였다.

주제어: 무인항공사진측량, 수치정사영상, 수치표면모형

I. 서론

최근 IT 기술의 급속한 발전과 함께 고해상도 공간정보의 활용이 크게 증가하고 있으며 토목, 방재, 문화재, 군사, 환경 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이와 같이 고해상도 공간정보의 수요가 증가함에 따라 최신의 공간정보를 저비용으로 신속하게 취득할 수 있는 무인항공 사진측량에 관한 연구가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다.

최근 연구동향으로 2004년 터키 이스탄불에서 개최된 ISPRS 20차 학술대회에서 무인항공기를 이용한 영상취득방법의 연구 필요성이 제안되었고, 2008년 중국 베이징에서 개최된 ISPRS 21차 학술대회와 2012년 호주 멜번 22차 학술대회 등을 통하여 무인항공기를 이용하여 촬영된 영상의 처리와 활용방법에 대한 다양한 연구결과들이 발표되었다.

Turner, *et. al.*(2012)[1]는 옥토포터와 Canon 550D 카메라를 이용하여 남극지역의 고해상도 수치지형모형과 정사영상 취득에 관한 연구를 수행하였으며, Harwin, *et. al.*(2012)[2]은 Canon 550D를 이용하여 고도 50m에서 취득된 105매의 무인항공사진을 이용하여 25-40mm 해상도의 포인트클라우드(point cloud)를 취득하였으며 토털스테이션 측량결과와 비교하여 10-15mm의 정확도를 제시하였다.

Fonstad, *et. al.*(2013)은 Canon A480 콤팩트 카메라와 helikite를 이용하여 대상지역의 포인트클라우드 데이터를 취득하고 LiDAR, GPS측량결과와 비교를 통해 각각 0.44m, 0.21m의 차이가 있음을 발표하였다.

국내에서는 유환희 외(2006)[4]은 저고도 무인항공 영상을 이용한 영상지도제작에 관한 연구를 수행하였다. 정성혁 등(2009)[5]은 디지털 카메라를 이용한 무인항공 사진측량의 정확도를 분석하였고, 정성혁 등(2010)[6]은 무인항공 사진측량을 이용한 3차원 공간정보 취득에 관하여 연구를 통하여 3D GIS 데이터베이스 갱신, 지형·지물 변화정보 추출 및 수치지형도 수치갱신에 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이인수 외(2013)[7]는 고정익 무인항공기를 이용하여 취득된 정사영상의 정확도를 평가하였으며, Network-GPS 측량결과와 비교한 결과 X방향으로 0.174~0.205m, Y방향으로 0.294~0.298m의 오차를 제시하였다.

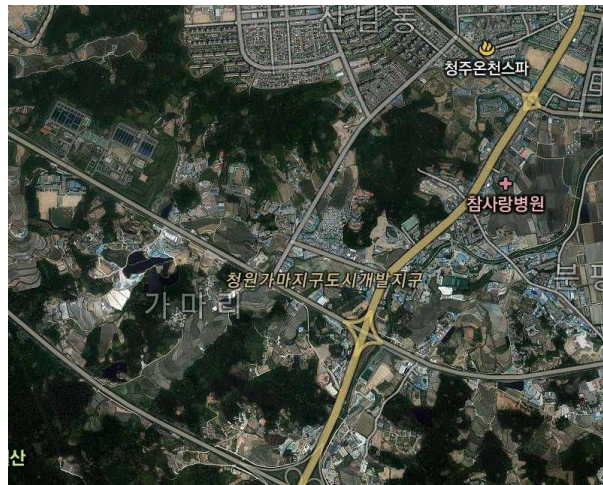
본 연구에서는 무인항공 사진측량기법을 이용하여 수 cm급의 고해상도 공간정보를 취득하고, 정확도를 분석하며, GIS 공간분석을 통해 활용성을 검토하는데 목적이 있다.

II. 데이터 취득

1. 실험 대상지역 선정

실험을 위한 대상지역은 도시개발사업이 진행 중인 청원가마지구 일대를 선정하였다. 대상지역의 위치는 충청북도 청원군 남이면 가마리 50번지로 지형은 완만한 구릉지로 이루어져 있으며 대상지역의 전체 면적은 약 280,000㎡ 이다.

본 대상지역은 2012년 12월에 착공하여 2013년 3월 시공측량이 실시되었고, 5월부터 토공사가 진행되고 있다. 2014년 12월 준공예정이며, 연구기간 동안 다양한 지형, 지물의 변화가 발생하는 지역으로 기준점측량성과 및 현황측량자료가 확보되어 있어 실험 대상지역으로 선정하였다. 대상지역의 항공사진지도(네이버 지도)와 수치지형도(1:5,000)는 <Fig 1>, <Fig 2>와 같다.



<Fig 1> Location of Test Field



<Fig 2> Digital Map of Test Field(1:5,000)

2. 무인항공 사진촬영시스템

무인항공기는 형식에 따라 탑재할 수 있는 중량의 제한이 있으며 DSLR 카메라, 소형 디지털 카메라 등을 이용하여 항공사진을 촬영한다. 소규모 지역에 대한 신속한 자료취득에 유리하고 저고도로 대상물에 접근하여 고해상도의 자료 취득이 가능하며 기존 항공사진측량 시스템에 비해 시스템 구축비용이나 운영비, 항공사진촬영 경비 측면에서 볼 때 소요경비가 비교적 적게 소요된다는 장점이 있다.

최근 무인항공 사진측량 분야에서 주로 이용되고 있는 무인항공기 형식은 고정익 방식(<Fig 3>)과 회전익(멀티콥터) 방식(<Fig 4>)으로 구분할 수 있으며, 두 가지 방식은 장단점을 가지고 있다. 우선, 고정익 방식은 회전익 방식에 비해 전력 소모가 적기 때문에 비행시간이 비교적 길고 안정적으로 항공사진을 촬영할 수 있는 장점이 있으나, 이착륙을 위한 장소가 필요하기 때문에 숲이 울창한 산악지역이나 복잡한 도심지역 내에서 운영하기 어렵고 바람의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 또한, 회전익 방식에 비해 탑재중량이 적기 때문에 소형 디지털카메라를 사용하여 영상해상도 측면에서 제한이 있다. 반면에 회전익 방식은 수직 이착륙이 가능하기 때문에 장소에 상관없이 항공사진촬영이 가능하고 고정익 방식에 비해 비교적 탑재중량이 크기 때문에 DSLR 디지털카메라를 사용할 수 있는 장점이 있으나, 전력 소모가 많기 때문에 비행시간이 고정익 방식에 비해 짧은 단점이 있다.



<Fig 3> Fixed Wing UAV(Trimble UX5)



<Fig 4> Multi Copter UAV(Draganflyer X8)

본 연구에서는 고해상도의 공간정보 취득을 위하여 멀티콥터 형식의 무인항공기와 Canon 5D Mark2 카메라를 이용한 무인항공 사진촬영시스템을 이용하였으며, 지형·지물의 변화에 따른

공간정보를 취득하기 위하여 실험 대상지역을 약 2-3개월 간격으로 총 3회에 걸쳐 항공사진촬영을 실시하였다.

III. 실험

1. 카메라 검정

무인항공사진 촬영에 이용한 Canon 5D Mark2와 Canon EF 24mm 렌즈에 대한 카메라 검정을 실시하였다. 카메라 검정은 실험실에서 실시하였으며 촬영고도를 고려하여 초점거리를 무한대로 고정하고 검정을 실시하였다.

<Fig 5>와 같은 calibration plate를 이용하여 카메라 검정을 실시하였으며, 촬영고도를 고려하여 초점거리 무한대에서 카메라 검정을 실시한 결과 내부표정요소는 <Table 1>과 같다.



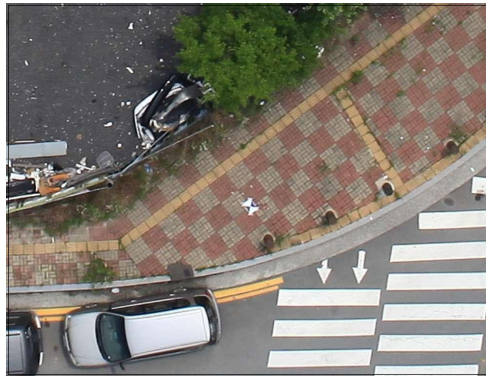
<Fig 5> Calibration Plate for Camera Calibration

<Table 1> Inner Orientation Parameters

Remark	Factor	calibration value
Focal Length(mm)	f	24.8128
Location of principle point of camera sensor(mm)	Xp	18.2304
	Yp	11.9193
Distortion of lenses (radial direction)	K1	1.880e-004
	K2	-2.843e-007
Distortion of lenses (tangential direction)	P1	-5.962e-006
	P2	-5.812e-006
Image size(pixel)	X	5,616
	Y	3,744

2. 지상기준점 측량

사진측량 절대표정시 기준점으로 이용하고 제작된 3차원 공간정보의 정확도를 분석하기 위하여 지상기준점 측량을 실시하였다. 지상기준점 측량은 현장에 총 25개의 대공표지를 설치하고 Network-GPS 측량으로 실시하였으며, 실험에서 사용한 대공표지는 카메라 해상도와 촬영고도 등을 고려하여 25cm×25cm로 제작하였다.



<Fig 6> Air Target

<Table 2> Coordinates of GCPs(unit: m)

No.	X(N)	Y(E)	Z(H)
1	444758.665	241843.999	86.767
2	444712.132	241807.025	87.645
3	444653.256	241772.358	87.895
4	444575.186	241726.489	88.964
5	444471.100	241912.981	90.688
6	444388.407	242069.441	93.062
7	444355.121	242193.350	86.332
8	444489.919	242262.675	84.727
9	444588.058	242304.967	84.329
10	444651.492	242196.339	84.516
11	444678.126	242122.266	84.670
12	444716.294	242014.870	84.941
13	444628.982	242069.851	84.633
14	444692.824	241994.851	84.690
15	444657.001	242014.041	84.619
16	444619.161	242034.388	85.227
17	444605.086	241982.688	85.054
18	444564.574	241945.157	87.754
19	444522.715	242038.588	83.897
20	444529.842	241996.711	90.741
21	444456.616	242059.978	89.106
22	444472.486	242121.599	86.916
23	444540.177	242100.411	84.877
24	444553.110	242050.895	84.918
25	444421.999	242090.755	90.697

3. 무인항공사진 촬영시스템

본 연구에서 항공사진촬영에 이용한 무인항공기는 회전익(멀티콥터) 형식으로 <Fig 7>과 같다. 탑재중량은 2kg까지 가능하기 때문에 고해상도 DSLR을 탑재할 수 있고, 비행시간은 최고 15분까지 가능하지만, 안전을 고려하여 10분으로 비행시간을 설정하였다. 무인항공기의 주요 제원은 <Table 3>과 같다.



<Fig 7> UAV Photogrammetry System

<Table 3> Specifications of UAV

Items	Value
Length	800mm
Width	800mm
Height	500mm
Weight	4,800g
Flight time	15min
Payload	2kg

항공사진촬영은 대상지역의 지형·지물변화를 고려하여 2013년 7월 6일, 2013년 10월 19일, 2013년 12월 7일 총 3차례 촬영하였다. 촬영된 항공사진을 이용하여 3차원 도화를 실시함으로써 대상지역의 시기별 현황측량자료 및 3차원 공간정보를 취득하였다.

항공사진촬영을 위하여 대상지역의 넓이와 비행시간, 중복지도, 항공사진 해상도 등을 고려하여 <Fig 8>과 같이 촬영계획을 수립하였다.



<Fig 8> Flight Course

항공사진촬영은 평균고도 100m로 중중복도 70%, 횡중복도 30% 이상 확보할 수 있도록 촬영 경로를 설정하였으며, 1차 촬영시 285매, 2차 촬영시 255매, 3차 촬영시 217매를 촬영하였다.





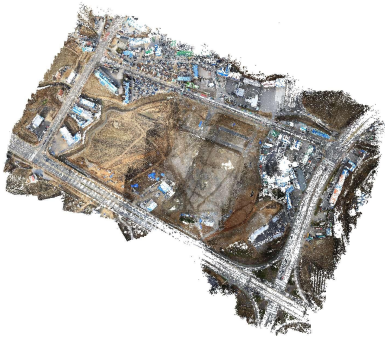
<Fig 9> Aerial Photo on Test Field(2013. 7. 6)

IV. 자료처리

1. 3차원 포인트 클라우드

촬영된 항공사진은 내부표정요소인 카메라 검정데이터와 무인항공기 GPS에서 취득된 사진 촬영위치(X, Y, Z) 및 카메라 회전각(κ , ϕ , ω)을 초기값으로 표정을 실시하였다. 중복사진에서 특징점을 자동 추출하고 영상 매칭에 의해 초기 포인트 클라우드 데이터를 취득하였다. 또한, 절대표정을 위하여 기준점 측량 성과중 4개의 기준점 좌표를 이용하였으며, 광속조정을 실시하여 <Table 4>와 같이 대상지역의 3차원 포인트 클라우드 데이터를 추출하였다.

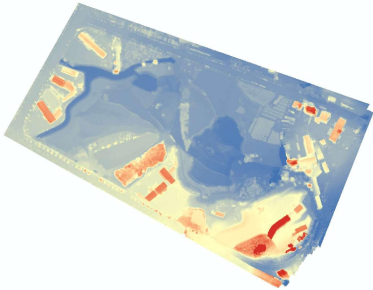
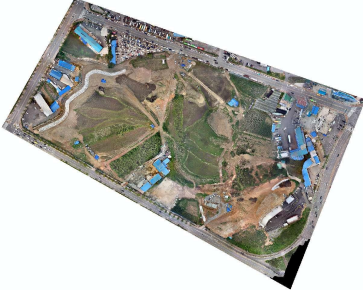
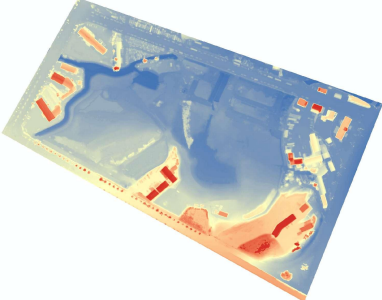



<Table 4> Point Cloud Data of Test Field

Date	Point cloud data
<p>1st (2013. 7. 6)</p>	
<p>2nd (2013. 10.19)</p>	
<p>3rd (2013. 12. 7)</p>	

2. 고해상도 공간정보

취득된 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 수치표면모형을 제작하고 항공사진을 이용하여 수치정사영상을 제작하였으며 그 결과는 <Table 5>와 같다. 수치표면모형 및 수치정사영상의 공간해상도는 각각 5cm와 2cm로 제작하였다.

<Table 5> Spatial Information of Test Field

Date	Digital surface model	Ortho image
1st (2013. 7. 6)		
2nd (2013. 10.19)		
3rd (2013. 12. 7)		

3. 정확도 분석

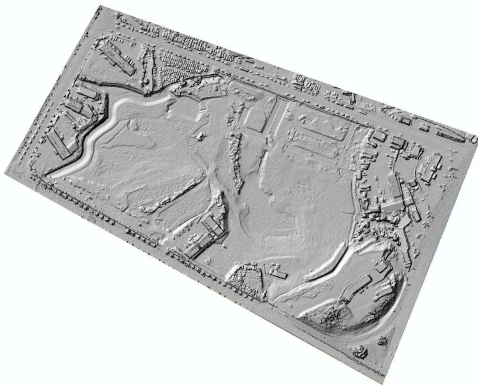
현장에 설치된 총 25개의 지상기준점 중 절대표정에 이용된 4개의 기준점(1, 4, 7, 9번)을 제외한 21개 기준점을 이용하여 정확도 분석을 실시하였다. 정확도 분석은 정사영상 및 수치표면모형에서 대공표지가 설치된 21개 검사점에 대한 X, Y, Z좌표를 취득하고 Network-GPS 측량에 의해 취득된 기준점 좌표와 비교하였으며 그 결과 Table 5와 같이 표준편차로 계산되었다.

<Table 5> Accuracy of Check Points(unit: m)

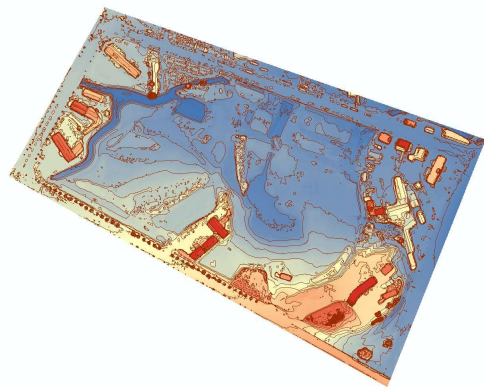
Date	X _{stdev}	Y _{stdev}	Z _{stdev}
1st(2013.7.6)	0.0375	0.0197	0.0848
2nd(2013.10.19)	0.0229	0.0298	0.0492
3rd(2013.12. 7)	0.0318	0.0221	0.0597

4. 공간정보 활용

본 연구에서 제작된 고해상도 3차원 공간정보를 이용하여 대상지역의 음영기복도(<Fig 10>), 등고선도(<Fig 11>), 수치지형도 및 도면 중첩도(<Fig 12>), 단면도(<Fig 13>) 등 주제도를 제작하였으며, 지형·지물 변화 모니터링(<Fig 14>), 현황측량, 방재 및 재난지역 모니터링, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 활용할 수 있다. <Table 6>은 시계열 분석을 위한 대상지역내 동일지점의 수치표면모형과 수치정사영상 자료이다.



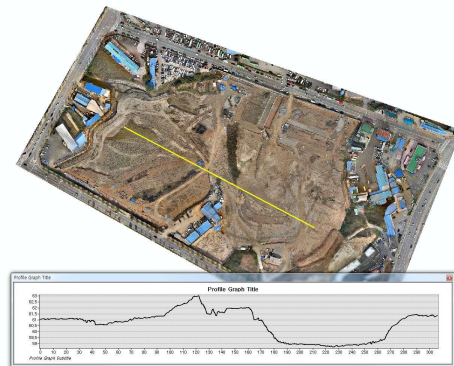
<Fig 10> Hill Shade Map



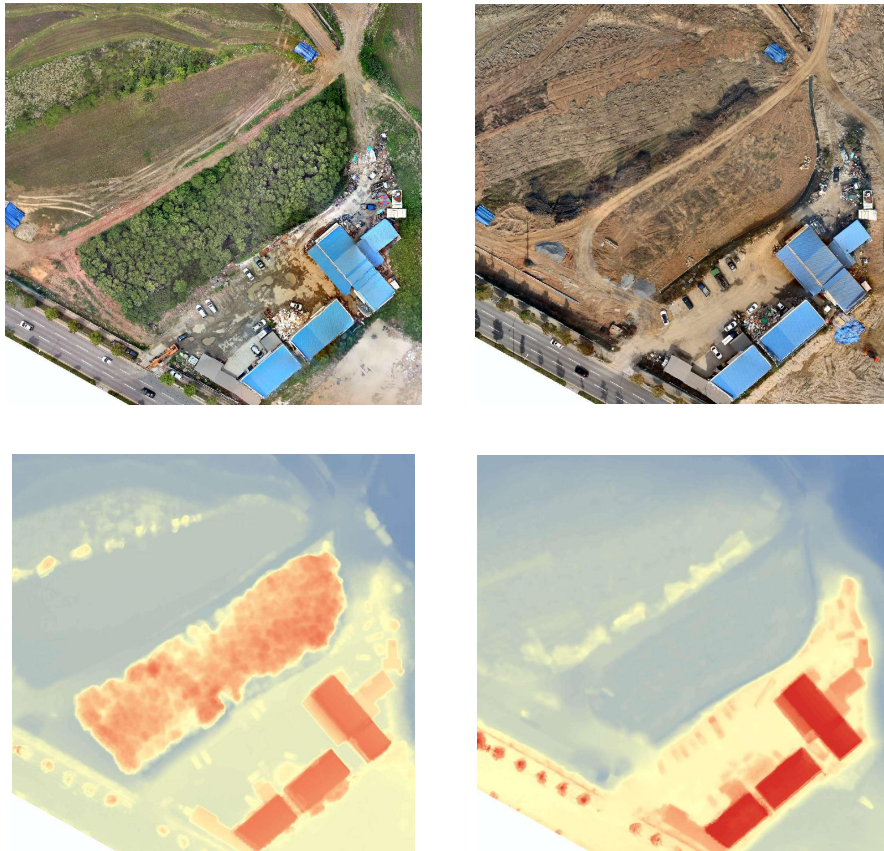
<Fig 11> Contour Map



<Fig 12> Drawing Overlay Map





<Fig 13> Profile Map


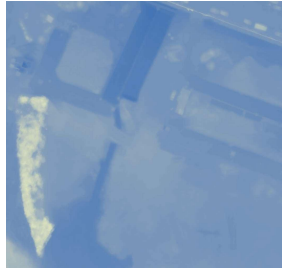




<Fig 14> Change Detection

<Table 6> Time Series Analysis

Date	Ortho image	Digital surface model
2013.7.6		

<Table 6> Time Series Analysis(Continue)

Date	Ortho image	Digital surface model
2013.10.19		
2013.12. 7		

V. 결론

본 연구는 무인항공 사진측량기법을 이용하여 수치정사영상, 수치표면모형 등 수cm급의 고해상도 공간정보를 취득하는 것을 목적으로 수행하였으며 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 멀티콥터 방식의 무인항공기와 Canon DSLR 5D mark2를 이용하여 평균고도 100m로 촬영한 항공사진을 처리한 결과 공간해상도 2cm급의 수치정사영상과 5cm급의 수치표면모형을 제작하였다.

둘째, 대상지역에 설치된 대공표지를 기준으로 Network GPS 측량방법으로 취득된 3차원 좌표를 이용하여 정확도를 분석한 결과 표준편차는 3회 측정시 X방향 2.29~3.75cm, Y방향 1.97~2.98cm, Z방향 4.92~8.48cm로 산출되었다.

셋째, 무인항공 사진측량기법을 활용하여 신속하고 경제적인 고해상도 3차원 공간정보 취득이 가능하며 시계열 공간정보를 이용하여 대상지역의 변화추출, 각종 주제도작성, 단면도 분석 등을 실시함으로써 현황측량, 방재 및 재난지역 모니터링, 지형·지물 변화 모니터링, 환경 모니터링 등 다양한 분야에 충분히 활용될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Turner, D., A. Lucieer, and C. Watson. 2012. *An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Imagery, Based on Structure from Motion(SfM) Point Clouds*. *Remote Sensing*. 1392 - 1410.
- [2] Harwin, S. and A. Lucieer. 2012. *Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Imagery*. *Remote Sensing*. 1573 - 1599.
- [4] Yoo, H., J. Park, J. Shim, and S. Kim. 2006. Image Map Generation Using Low-altitude Photogrammetric UAV. *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*. 14(1): 37-47.
- [7] Lee, I., J. Lee, S. Kim, S. Hong. 2013. Orthophoto Accuracy Assessment of Ultra-light Fixed Wing UAV Photogrammetry Techniques. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 33(6): 2593-2600.
- [5] Jung, S., H. Lim, and J. Lee. 2009. Analysis of the Accuracy of the UAV Photogrammetric Method using Digital Camera. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodecy, Photogrammetry and Cartography*. 27(6): 741-747.
- [6] Jung, S., H. Lim, and J. Lee. 2010. Acquisition of 3D Spatial Information using UAV Photogrammetric Method. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodecy, Photogrammetry and Cartography*. 28(1): 161-167.
- [3] Fonstad, M. A., J. T. Dietrich, B. C. Courville, J. L. Jensen, and P. E. Carbonneau. 2013. Topographic Structure from Motion: A New Development in Photogrammetric Measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*. 421-430.

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [4] 유환희, 박장환, 심재현, 김성삼. 2006. 저고도촬영시스템을 이용한 영상지도 제작. 한국지형공간정보학회지. 14(1): 37-47.
- [5] 정성혁, 임형민, 이재기. 2009. 디지털 카메라를 이용한 무인항공 사진측량의 정확도 분석, 한국측량학회지. 27(6): 741-747.
- [6] 정성혁, 임형민, 이재기. 2010. 무인항공 사진측량을 이용한 3D 공간정보 취득. 한국측량학회지. 28(1): 161-167.

[7] 이인수, 이재원, 김수정, 홍순현. 2013. 초경량 고정익무인항공기 사진측량기법의 정사영상 정확도 평가. 대한토목학회지. 33(6): 2593-2600.

조영선: 충북대학교에서 공학석사 학위를 취득하고 박사수료(2010년 8월)를 하였다. 현재 한맥엔지니어링(주)에 대표이사로 재직중이며 주요 관심분야는 무인항공기 사진측량, 지형공간정보시스템 분야이다 (hanmac65@hanmail.net).

임형민: 충북대학교에서 공학박사(측량공학 전공) 학위를 취득하고 현재 경북대학교에서 조교수로 재직중이다. 주요논문으로는 “수치해석에 의한 다층지반에서 근접병렬터널 필라의 안정성 분석” 및 “하천공사 대표공종의 작업조 구성 및 생산성 정보개발” 등이 있으며 관심분야는 지형정보를 이용한 재난안전관리 및 시공관리분야이다 (hmlim@knu.ac.kr).

최석근: 충북대학교에서 공학박사(측량공학 전공) 학위를 취득하고 현재 충북대학교에서 교수로 재직 중이다. 주요 연구로는 “0.25m 디지털 항공사진을 이용한 수치지도 제작 방안 연구”, “세계좌표계 변환을 위한 보정계수 결정”, “GIS DB 구축을 위한 수시갱신시스템 개발”등 이 있으며, 관심분야는 지형정보를 활용한 관리시스템 개발, 항공사진을 활용한 지형정보 DB 구축 등이다(skchoi@chungbuk.ac.kr).

정성혁: 충북대학교에서 공학박사(측량공학 전공) 학위를 취득하고 현재 충북대학교에서 겸임교수로 재직 중이다. 주요 연구로는 “무인항공 사진측량을 이용한 3D 공간정보 취득”, “수치지도 수시갱신 시스템 개발” 등이 있으며, 관심분야는 근거리 사진측량, 산업사진측량, 무인항공 사진측량 등이다(idealharry@gmail.com).