

무인항공기 매핑을 통한 차선 추출 및 정확도 평가

Lane Extraction through UAV Mapping and Its Accuracy Assessment

박찬혁¹⁾ · 최경아²⁾ · 이임평³⁾
Park, Chan Hyeok · Choi, Kyoungah · Lee, Impyeong

Abstract

Recently, global companies are developing the automobile technologies, converged with state-of-the-art IT technologies for the commercialization of autonomous vehicles. These autonomous vehicles are required the accurate lane information to enhance its reliability by controlling the vehicles safely. Hence, the study planned to examine possibilities of applying UAV photogrammetry of high-resolution images, obtained from the low altitudes. The high-resolution DSM and the ortho-images were generated from the GSD 7cm-level digital images that were obtained and based on the generated data, when the positions information of the roads including the lanes were extracted. In fact, the RMSE of verifying the extracted data was shown to be about 15cm. Through the results from the study, it could be concluded that the low altitude UAV photogrammetry can be applied for generating and updating a high-accuracy map of road areas.

Keywords: UAV, Mapping, Lane Extraction, Precision Road Map, Autonomous Vehicle, Advanced Driver Assistant System

초 록

최근 세계적인 기업들은 자율주행 자동차 상용화를 위해 최첨단 IT 기술을 융합한 자동차 기술을 발전시키고 있다. 이러한 자율주행 자동차는 차량을 안전하게 제어하여 신뢰도를 제고할 수 있도록 정확한 도로 경계 및 차선 정보를 요구하고 있다. 이에 본 연구는 저고도에서 취득된 고해상도 영상을 이용하는 UAV 사진측량의 적용 가능성을 검토하고자 한다. 취득된 GSD 7cm급의 디지털 영상으로부터 고해상도의 DSM과 정사영상을 생성하고, 생성된 자료를 기반으로 차선이 포함된 도로의 위치 정보를 추출하였다. 추출 자료의 정확도 검증 결과, RMSE는 약 15cm 이내임을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과로 도로 영역에 대한 정밀 지도 제작과 갱신을 위해 UAV 사진측량이 효과적으로 적용될 것으로 판단된다.

핵심어 : 무인항공기, 매핑, 차선 추출, 도로 정밀 지도, 자율주행 자동차, 첨단 운전자 지원 시스템

Received 2015. 10. 28, Revised 2015. 12. 09, Accepted 2016. 02. 12

1) Member, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul(E-mail:seoulgis@korea.com)

2) Member, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul(E-mail:shale@uos.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul (E-mail:iplee@uos.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. 서론

최근 고정밀 GNSS(Global Navigation Satellite System) 위치기반기술 향상과 IT(Information Technology) 산업의 정보통신기술 발전으로 최첨단 자동차 기술이 급속도로 발전되고 있다. 이러한 자동차 기술은 공간정보 기술을 기반으로 자율주행 자동차 상용화와 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS ; Advanced Driver Assistance System) 서비스를 향상하고 있다. 자율주행 자동차는 운전자 없이 각종 센서와 자동 항법 장치 기반에서 스스로 제어하여 목적지까지 안전하게 도달할 수 있는 서비스를 제공하고(Jeong, 2014), 첨단 운전자 지원 시스템 서비스는 차선이탈 정보, 차선변경 지원, 줄음운전 방지 시스템 등의 기능을 수행하여 차량 탑승자의 교통안전사고를 감소시키고 있다(Jeong and Oh, 2013).

최첨단 자동차 서비스는 차량 스스로가 정밀한 차선정보를 통해 차량의 위치를 정확하게 결정하고, 차선 기준으로 차량을 제어할 수 있어야 한다. 최근 차량을 안전하게 제어하기 위한 목적으로 차선 자동 인식 기술을 이용하는 방법과 도로 정밀 지도를 이용하는 방법이 연구되고 있다. 첫 번째, 차선 자동 인식 기술을 이용하는 방법은 차량에 탑재된 각종 고성능 센서와 실시간 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 비전 기술을 적용하여 차선 자동 인식 모듈로 개발되고 있고, 자동차 기술과 접목되어 발전되어 왔다(Go, 2013; Ogawa and Takagi, 2006; Hechri *et al.*, 2015). 그러나 대부분의 차선 인식 알고리즘은 차선이 확실하지 않은 구간에서 일부 오인식되는 현상이 나타나고 있다. 도로의 가로수와 방호벽 시설, 고층 빌딩의 그림자, 도로의 오염, 차선의 훼손에 따른 여러 가지 환경적인 요인으로부터 차선 오인식의 가능성이 있으므로 안전에 대한 신뢰도 제고가 필요하다. 반면, 두 번째, 도로 정밀 지도를 이용하는 방법은 구축 시간과 비용이 많이 소요되지만, 자율주행 서비스에 매우 중요한 역할 수행으로 안전성 확보에 기여할 수 있을 것으로 연구되고 있다. 도로의 여러 가지 환경적인 요인을 고려한 정확한 차선 추출로 도로 정밀 지도 제작이 가능하기 때문이다. 이에 본 연구에서는 차선을 기준으로 차량의 위치를 정확하게 인식하여 제어할 수 있도록 도로 및 차선정보 추출에 대한 연구를 수행하고자 한다.

도로 정밀 지도를 제작하기 위한 차선정보 추출 연구는 지금까지 다양한 방법으로 수행되어 왔다. 항공사진을 이용하는 방법과 지상 모바일 매핑 시스템을 이용하는 방법이 국내 외적으로 연구되었고, 특히 항공사진을 기반으로 차선을 추출하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국외 연구로는 Jin *et al.*(2009)가 고해상도 스테레오 항공사진 영상을 영상분할기

법으로 처리하여 도로의 차선을 추출하였고, Seo *et al.*(2012)은 정사영상의 패턴 세분화로 차선 수준의 상세한 자료를 추출하는 알고리즘을 개발하여 고속도로에 대한 차선 추출 결과를 검증한 바 있다.

국내에서도 Park *et al.*(2009)은 전처리 영상으로 RANSAC 및 LMS 알고리즘을 통해 잡음에 영향을 적게 받는 추정 기법으로 차선 추출 가능성을 확인한 바 있다. Park(2013)은 최소 영역에서만 차선의 윤곽선을 뚜렷하게 하는 전처리 알고리즘을 통해 차선의 에지성분을 강조하고, 이에 대한 결과로 차선의 검출률을 향상시키는 알고리즘을 제시하였다. 그리고 국토지리정보원과 지방자치단체, 정부투자기관 등에서는 도시 지역에 대한 1/1,000 수치지형도 제작을 목적으로 측량전문용 항공사진측량 방법을 통해 정확한 차선을 부분적으로 추출하여 왔고, 추출된 차선은 도로시설물의 위치측량 기준 자료로 활용되어 왔다.

지상 모바일 매핑시스템(MMS ; Mobile Mapping System)을 이용한 방법으로는 Kang(2013)이 첨단 운전자 지원 시스템 적용을 목적으로 지상 매핑시스템 자료 사이에 발생하는 상호 편차 문제를 해결함으로써 도로 정밀 지도 정보 구축의 유용성을 입증한 바 있다. 또한, 국내 업체에서 지능형 운전자 지원 시스템 지원을 목적으로 GPS(Global Positioning System) 및 IMU(Inertial Measurement Unit) 정보와 레이저 점군 데이터를 처리하여 차선을 수동으로 추출한 사례가 있으며, 최근 국토지리정보원은 자율협력주행 도로시스템 개발 지원을 목적으로 항공사진측량과 모바일 매핑시스템을 통해 50cm 이내의 차선 정확도를 확보할 수 있는 도로 정밀 지도 제작 시범 구축 및 연구를 추진하고 있다(Heo, 2015).

도로 및 차선정보는 각종 도로 신설 및 포장공사, 차선도색과 같은 보수공사로 위치정보가 수시로 변경되고 있으므로 신속한 자료 취득 방법이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 적은 비용으로 신속하게 고해상도 영상 취득이 가능한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 시스템을 기반으로 도로 정밀 지도 제작을 위한 자료 추출 방안을 모색하고자 한다. 최근 UAV 시스템은 정보통신의 IT 기술과 결합하여 군사적 목적과 해양, 재해, 환경감시 분야에서 그 특성과 목적에 따라 다양하게 시범 적용하고 있다. UAV 시스템이란 사람이 탑승하지 않는 무인항공기에 각종 디지털 센서와 GPS 및 INS(Inertial Navigation System) 등을 탑재하고, 원격제어로 자율비행 할 수 있도록 구성된 시스템을 의미한다. UAV 시스템은 저비용으로 운용이 가능하고, 각종 공간정보를 신속하게 취득할 수 있으므로 고비용의 유인항공기의 능력에 대체하고 있다. 또한, 공간정보구축 분야에서도 정사영상,

DEM(Digital Elevation Model), 3차원공간정보구축 등 관련 된 연구가 다양하게 수행되고 있다(Choi, 2010; Kim, 2014).

특히, 국내의 공간정보 분야에도 UAV 시스템에 대한 적용 사례와 연구가 활발하게 수행되고 있다. Zhang(2008)은 UAV 기반의 측량 매핑 시스템 연구를 통해 도로 상태를 모니터링 하기 위한 카메라 보정으로 디지털 3차원 모델을 생성하고, 정사영상지도를 자동으로 생성하는 연구를 수행하였다. 그리고 중국의 Lin(2011)은 UAV 매핑 시스템을 통하여 DEM과 정사 영상지도, 3차원 모델링을 수행하여 토지관리의 활용과 도시 계획 적용 방안을 제시하였다. Tahar *et al.*(2012)은 경량 회전익 UAV를 이용하여 저비용의 디지털 카메라를 통해 영상을 취득하였고, 지상기준점 자료와 ERDAS 소프트웨어를 사용하여 DEM과 정사영상지도를 생성하였다. 각각 고정 및 모바일 플랫폼에 대한 두 가지 접근 방식으로 구현하였으며, 동일한 결과를 도출하였다. 특히, 작은 영역에서 제한된 예산과 시간에 매우 적합함을 증명하고 있다.

국내에서도 UAV 시스템을 이용한 공간정보구축과 관련 연구가 다양하게 수행되고 있다. Cho(2014)는 UAV 시스템의 디지털 영상을 이용한 정사영상으로부터 정확도와 경제성을 비교 분석하여 공간정보 분야의 실용적인 적용 가능성을 분석하였고, Im(2010)은 변화가 빈번한 도시의 지형지물을 대상으로 UAV 시스템에서 취득한 영상을 기반으로 3차원 공간 정보를 구축함으로써 이에 따른 갱신비용과 시간을 절감하고자 하였다. 그리고 Kim *et al.*(2014)은 국토모니터링분야의 적용을 위해 무인항공기 정확도를 검증하였다. 검증 결과 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량을 수행할 경우 표준편차 10cm 이내의 정사영상 제작이 가능하며, 특히 작은 지역에 대해 정밀한 공간정보를 구축할 때 활용성이 높을 것으로 판단하였다.

선행연구 분석 결과 UAV 시스템을 기반으로 하는 공간정보구축은 신속성 및 정확성, 경제적인 측면에서 충분히 적용 가능성을 확보하고 있다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 UAV 시스템으로부터 취득된 고해상도 영상으로부터 DSM(Digital Surface Model)과 정사영상을 생성하였다. 이를 기반으로 도로 선형 및 차선정보 추출하고, 이에 대한 정확도를 검증하고자 한다. 또한, 수시로 변경되는 각종 도로 정보를 신속하게 갱신하여 도로 정밀 지도의 최신성을 확보할 수 있도록 UAV 매핑 방법의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 데이터 취득 및 처리

2.1 데이터 취득

인천광역시 서구 연희동 인천 아시아드 주경기장 주변지역을 연구대상 지역으로 선정하였다. 이 지역은 차도와 인도로 구성된 중앙 차로, 정지선, 안전지대가 포함된 왕복 9차선 도로이다. 연구대상 지역 중에서 Fig. 1과 같이 디지털 영상 취득과 항공삼각측량에 대한 영역은 0.8km×1.5km(점선 지역)이고, 도로 및 차선정보 추출 영역은 도로노선 연장 0.85km(실선 지역)이다.

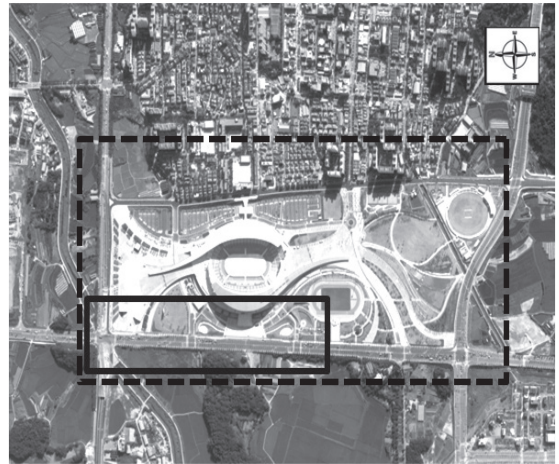


Fig. 1. Location of study area

촬영에 사용된 무인항공기는 Fig. 2와 같이 자동항법장치의 활용이 가능한 SmartOne 고정익이다. 자동항법장치는 GPS 및 IMU로 구성되며, 촬영 당시의 비행체에 대한 자세값을 측정하고 계획된 촬영 지점으로 자동비행할 수 있도록 비행체를 유도하는 장치이다. 무인항공기와 디지털 센서의 제원은 각 Table 1, Table 2와 같다.

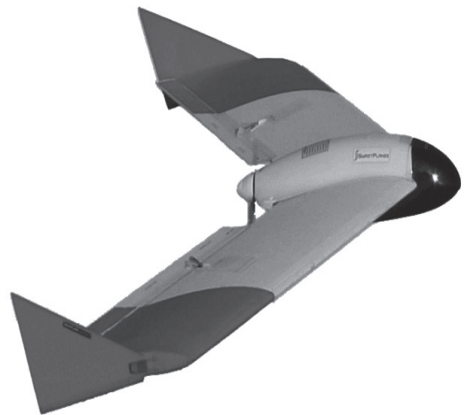


Fig. 2. SmartOne UAV

Table 1. UAV specifications

Drone model	SmartOne
UAV type	Fixed-wing
Wing span	1.2m
Flight altitude	100~1,200m
Flight speed	≤ 50km/h
Flight time	≤ 40min

Table 2. Digital sensors(cameras) specifications

Camera model	Canon PowerShot S95
Resolution	3,648 x 2,736
Focal length	6mm
Pixel size	2.03311 x 2.03311um
Calibration report	No

취득 지역에 대한 영상 스트립, 촬영 고도는 Fig. 3과 같이 비행 계획을 수립하였다. 촬영 결과, 약 222m 비행고도에서 23스트립의 비행경로를 따라 GSD(Ground Sample Distance) 약 7cm 급의 디지털 영상 460매를 취득하였고, 이에 대한 세부적인 결과는 Table 3과 같다.

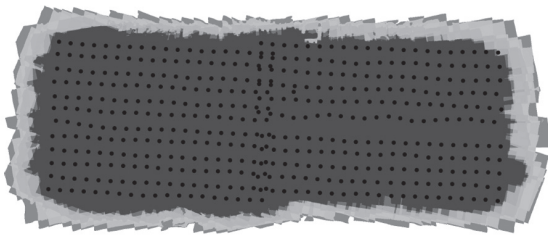


Fig. 3. Camera locations and data acquisition status

Table 3. Study area and description

Coverage area	1.20km ²
Number of images	460
Flying altitude	222.13m
Ground Sample Distance	6.61cm/pix
Tie-points	1,729,969point

UAV 시스템에서 취득된 전체 460매 디지털 영상에서 도로 및 차선정보 추출을 위한 Fig. 4와 같이 18매의 디지털 영상을

재분류하였다. Fig. 5는 선정된 영상 중에서 도로부분을 확대한 이미지로 차선이 명확하게 취득된 영상이다.

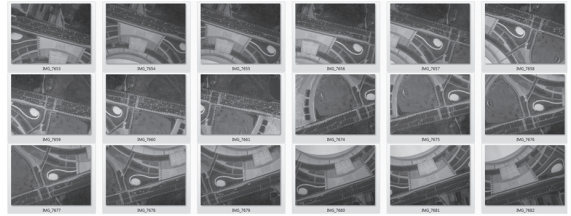


Fig. 4. Digital images acquired by the UAV system (all)



Fig. 5. Digital images acquired by the UAV system (zoom)

2.2 데이터 처리

UAV 시스템에서 취득된 영상은 항공삼각측량과 DSM 생성, 정사영상 제작 과정을 통해 처리하였고, 상용 프로그램인 PhotoScan Pro를 이용하였다. 또한, 지상기준점측량은 네트워크 RTK(Real-Time Kinematic) 시스템 측량 방법의 VRS(Virtual Reference Station) 측량 방식을 적용하였다. 전체 8점을 관측하여 XY 평면좌표를 취득하고, 관측된 타원체 고로부터 국가지오이드 모델을 적용하여 정표고(H)를 산출하였다. 지상기준점은 Fig. 6과 같이 영상 취득 지역 전체에 분포하도록 배치하였다. 취득된 지상기준점의 좌표를 통해 항공삼각측량(AT: Aero-Triangulation)을 수행한 결과, 지상기준점에 대한 잔차의 평균과 RMSE는 Table 4와 같다.

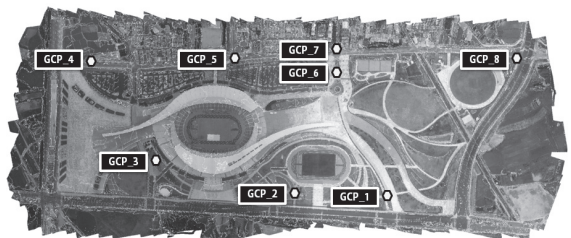


Fig. 6. GCP locations

Table 4. Aerial triangulation results

		X(m)	Y(m)	H(m)
AT	Mean	0.022	0.029	0.025
	RMSE	0.027	0.041	0.042

지형 모델링은 PhotoScan Pro에서 지원하는 자동영상매칭 기법 기능을 통해 GSD 13cm 급의 DSM을 생성하였다. 또한, DSM을 기준으로 중심투영 방식으로 취득된 초기 영상을 정사투영 방식으로 보정하였고, 이를 집성하여 GSD 약 7cm 급의 정사영상을 제작하였다. 생성된 DSM 및 정사영상은 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9와 같다.



Fig. 7. DSM (orthogonal view)

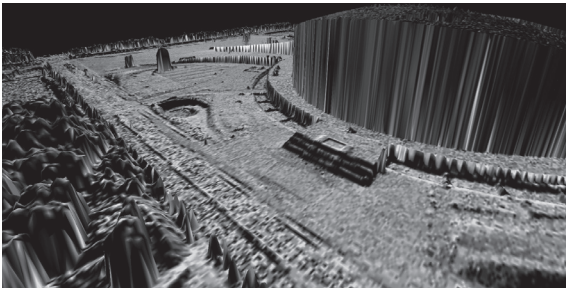


Fig. 8. DSM (oblique view)

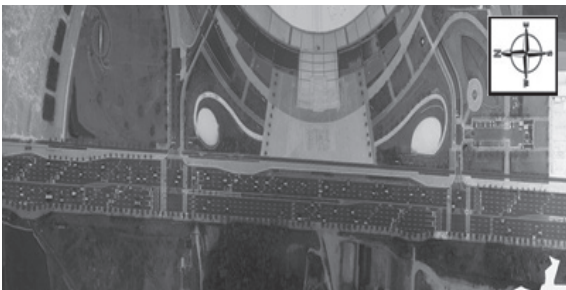


Fig. 9. Orthophoto

3. 도로 추출 및 정확도 평가

3.1 도로 및 차선정보 추출

UAV 시스템은 주로 운항관리시스템(FMS ; Flight Mangement System)을 통해 비행을 제어하고, GPS 수신기와 IMU 관성측정장치, 디지털 센서를 탑재하고 있다. 운항관리시스템은 비행에 관련된 각종 무인기의 위치, 속도, 자세, 방위, 바람 성분 등의 정보를 제공하고 있고, IMU는 GPS와 연동하여 비행자세에 대한 외부표정요소를 제공하고 있다. 하지만 탑재된 장치는 대부분 저가 사양의 장비로 구성되어 성능에 대한 제약은 받고 있고, 별도의 카메라 캘리브레이션을 통해서만 정밀한 내부표정요소 결정이 가능하다.

정확한 자료 추출을 목적으로 취득된 영상은 지상기준점의 3차원 좌표로부터 항공삼각측량을 수행하였지만 저가 사양으로 탑재된 UAV 시스템 성능에 대한 제약사항이 나타났다. 수치도화기에서 스테레오 영상으로 입체 관측한 결과, 좁게 형성된 모델 영역에서 중복도가 불규칙하였고, 주점에서 멀어질수록 영상의 왜곡도 나타났다. 또한, 투영면에 상좌표가 일치하지 않는 시차가 발생되어 UAV 시스템을 통해 취득한 디지털 영상은 입체 관측 방법으로 자료 추출이 어렵다고 판단하였다.

이에 본 연구에서는 UAV 시스템의 전용 소프트웨어를 이용하여 DSM과 정사영상을 생성하고, 이를 기준으로 도로 및 차선에 대한 위치정보를 추출하여 정확도를 검증하는 방안으로 연구를 수행하였다. 도로의 선형 및 차선정보는 GSD 7cm 급의 정사영상 자료를 기반으로 추출하였고, 차선 인식 과정에서 발생하는 오류의 가능성을 배제하기 위해서 수동 방법을 적용하여 차선을 추출하였다. 자동 방법으로 차선을 추출할 경우 도로의 주행 차량과 그림자와 같은 다양한 환경의 불안정한 요인으로부터 잘못된 차선이 포함될 수 있기 때문이다. 또한, 도로의 선형에 대한 레이어 구분은 향후 자율주행 자동차와 첨단 운전자 지원 시스템의 활용성을 고려하고자 도로 및 차선, 정지선, 중앙차선, 안전지대로 분류하여 Fig. 10과 같이 추출하였다.

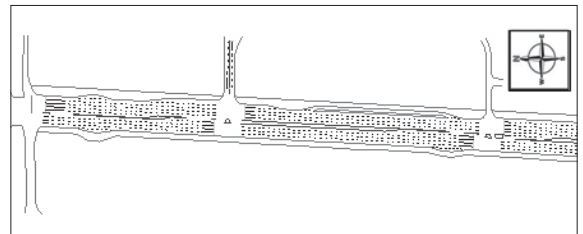


Fig. 10. The results of road and lane data

차도 및 인도를 포함한 도로의 표고정보 추출은 GSD 13cm 급의 DSM 자료를 기반으로 추출하였다. 표고 추출 간격은 연구 목적으로 자료를 추출하였기 때문에 1/1,000 수치지형도에서 요구하는 표고 간격보다 조밀하게 추출하였다. 추출한 표고정보는 Fig. 11과 같다.

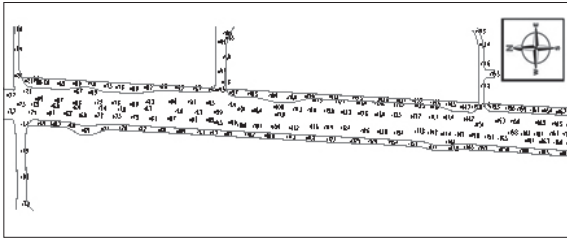


Fig. 11. Road elevation extraction results

3.2 정확도 평가

본 연구의 정확도 검증은 네트워크 RTK 시스템 측량 방법의 VRS 측량 방식을 적용하여 검사점의 기준성과를 취득하였고, Fig. 12와 같이 배치하였다. 전체 20점을 관측하여 XY 평면좌표를 취득하고, 관측된 타원체고로부터 국가지오이드 모델을 적용하여 정표고(H)를 산출하였다. UAV 시스템을 통해 추출된 차선의 위치정보에 대하여 선정된 검사점을 기준으로 정확도를 검증하였고, 또한 측량전문용 UltraCam Xp를 이용해서 취득한 GSD 9cm 급의 스테레오 디지털 영상 자료와도 정확도를 비교하여 분석하였다.

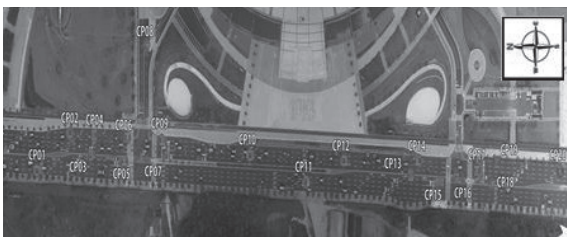


Fig. 12. Check point layout

측량전문용 UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 방법은 대축척 수치지도 제작 시에 일반적으로 활용되고 있는 방법이다. 이에 대한 좌표는 수치도화기로 스테레오 디지털 영상을 입체 관측하여 도로와 차선에 대한 평면 및 표고의 위치정보를 취득하였다.

네트워크 RTK 시스템 측량 방법으로 취득된 검사점을 기

준으로 UAV 시스템을 통해 추출된 차선의 위치정보와 측량전문용 UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 자료를 비교 분석하여 검증한 결과 DX, DY, DH의 RMSE(Root Mean Square Error)는 Table 5와 같이 각각 나타났다. Table 5에서 DX, DY, DH는 검증을 위해 비교 분석한 두 종류 자료의 좌표값 차이량이고, CP001~CP020은 검사점에 대한 번호이다.

검증을 위한 위 두 가지 분석 결과에서 첫째, Network RTK - UAV Photogrammetry ①은 네트워크 RTK 시스템 측량 방법으로 취득된 검사점 자료로부터 UAV 시스템을 통해 추출된 차선의 정확도를 비교 분석한 결과이다. 이에 대한 RMSE는 $X=\pm 0.068m$, $Y=\pm 0.135m$, $H=\pm 0.112m$ 로 나타났고, 이러한 결과로 UAV 시스템에서 취득한 DSM과 정사영상에서 추출한 도로 및 차선정보의 정확도는 약 15cm 이내로 평가되었다.

둘째, Network RTK - Manned Aerial Photogrammetry ②는 네트워크 RTK 시스템 측량 방법으로 취득된 검사점 기준으로 측량전문용 UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 방법으로 취득한 자료의 정확도를 분석한 결과이다. 이에 대한 RMSE는 $X=\pm 0.085m$, $Y=\pm 0.055m$, $H=\pm 0.101m$ 로 나타났고, 이러한 결과로 측량전문용 UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 방법 자료의 정확도는 약 10cm 내외로 평가되었다. 본 연구지역과 같이 좁은 도로영역에서 UAV 시스템으로 취득한 위치 정확도는 약 15cm 이내이고, UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 방법으로 취득한 결과는 약 10cm 내외로 평가할 수 있으므로 두 가지 자료의 정확도 차이는 약 5cm 내외로 확인할 수 있었다.

과거 국가공간정보 구축은 측량전문용 항공사진측량으로 전면 또는 부분 수정방법으로 제작되어 왔으나 최근에는 최신성을 확보할 수 있도록 수시·수정 제작 방안으로 전환되었다. 특히, 도로 및 표고정보에 대한 수시·수정 방법은 지금까지 기존의 항공사진측량 방법을 이용하거나 지형현황측량 방법, 공사 준공도면을 이용하는 방법을 적용했다. 그러나 기존 항공사진측량 방법은 정확하게 공간정보 구축이 가능하지만, 환경에 따른 영향을 많이 받고, 소규모 영역에 대하여 경제성이 낮은 단점이 있다. 지형현황측량 방법은 정확한 위치정보 취득이 가능하고, 작업 환경에 대한 영향을 적지만, 경제성이 낮은 단점이 있다. 그리고 준공 공사도면을 이용하는 방법은 저렴한 비용으로 신속하게 수시 수정이 가능하지만, 국가기본도에서 요구하고 있는 정확도 확보가 어려울 수도 있었다.

본 연구결과는 Table 6과 같이 “용역검사 기준(국토지리정보원 예규 제67호, 2014. 3. 21)”의 국가기본도 수정·제작을 위

한 최종 위치 정확도 기준에서 1/1,000 및 1/5,000 수치지도의 RMSE 결과를 모두 만족하고 있다. 이에 도로에 대한 국가기 본도의 수시-수정 갱신 방법으로 UAV 시스템 적용이 가능할

것으로 판단되었고, 도로 개설 및 확장 등으로 수시로 변경되는 도로의 평면 및 표고정보를 신속히 갱신하여 최신성 있는 국가공간정보구축에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 5. The accuracy assessment results of extracted road data

Number of Checkpoints	Accuracy evaluation(Difference)					
	Network RTK - UAV Photogrammetry ①			Network RTK - Manned Aeria Photogrammetry ②		
	DX(m)	DY(m)	DH(m)	DX(m)	DY(m)	DH(m)
CP001	-0.038	0.080	-0.297	-0.113	-0.024	0.011
CP002	-0.003	0.017	-0.207	-0.041	-0.091	0.112
CP003	-0.034	0.209	-0.146	-0.065	-0.035	0.050
CP004	-0.055	0.015	-0.117	-0.053	-0.075	0.049
CP005	-0.018	0.302	-0.091	-0.063	-0.084	0.098
CP006	-0.002	0.126	-0.069	-0.106	-0.027	-0.001
CP007	0.027	-0.001	-0.085	-0.016	0.095	0.087
CP008	-0.243	0.059	0.004	-0.024	-0.040	0.079
CP009	-0.024	-0.139	-0.042	-0.015	-0.003	0.150
CP010	-0.022	-0.111	-0.001	-0.089	-0.098	0.071
CP011	0.037	-0.086	0.112	-0.077	-0.016	0.069
CP012	0.012	-0.073	0.098	-0.073	-0.072	0.142
CP013	0.059	0.074	0.050	-0.063	0.006	0.214
CP014	0.104	-0.007	0.110	-0.101	0.031	0.120
CP015	0.011	0.329	0.063	-0.054	-0.060	0.132
CP016	0.020	0.023	-0.055	-0.018	0.034	0.099
CP017	-0.036	-0.143	-0.015	0.031	0.011	0.050
CP018	-0.026	-0.015	-0.046	-0.138	-0.002	0.074
CP019	-0.056	0.005	-0.048	-0.142	-0.010	-0.024
CP020	0.021	-0.083	0.043	-0.149	-0.053	0.064
Mean	-0.013	0.029	-0.037	-0.068	-0.026	0.082
RMSE	0.068	0.135	0.112	0.085	0.055	0.101

Table 6. Location accuracy regulation of national base map

		RMSE		
		Plane	Elevation	Remark
Digital Map	1/1,000	±0.7m	Within $\Delta h/3$	Δh : contour interval
	1/5,000	±3.5m	Within $\Delta h/3$	

4. 결론

본 연구는 UAV 시스템을 통해 수시로 변경되고 있는 도로 및 차선의 위치정보를 효율적으로 취득하기 위한 목적으로 수행하였으며, 추출 자료의 정확도를 검증한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 도로 및 차선의 위치정보는 항공기에 디지털 센서를 탑재하여 영상을 취득하거나 차량 모바일 매핑시스템의 레이어 점군 데이터 자료로부터 추출할 수 있다. 본 연구에서는 신속하고, 저렴하게 UAV 시스템에서 취득한 GSD 7cm급의 고해상도 영상으로부터 DSM과 정사영상을 생성하여 차선이 포함된 도로의 평면 및 표고정보를 추출하였다. 네트워크 RTK 시스템 측량성과 기준으로 추출 자료에 대한 정확도 검증 결과 차선정보의 위치정확도는 약 15cm 이내임을 확인하였다.

둘째, 네트워크 RTK 시스템 측량성과 기준으로 측량전문용 UltraCam Xp를 이용한 항공사진측량 방법의 정확도를 비교 분석한 결과 약 10cm 내외로 평가되었다. 따라서 UAV 시스템으로 취득한 위치정확도가 약 15cm 이내이고, 항공사진측량 방법으로 취득한 위치정확도는 약 10cm 내외로 평가됨에 따라 두 가지 자료의 정확도 차이는 약 5cm 내외로 확인할 수 있었다.

셋째, 이러한 결과로 수시로 변경되는 도로 일부 영역에 대한 도로 정밀 지도 제작 방법으로 UAV 시스템 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 또한, UAV 시스템에서 취득한 도로의 평면 및 표고정보는 국가기본도 제작에서 요구하는 최종 위치정확도를 만족하고 있다. 이에 도로에 대한 국가기본도의 수시수정 갱신 방안으로 UAV 매핑 방법의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

본 연구는 경사 없는 평평한 도로 영역에 대하여 수행되었으나, 향후 기복이 있는 넓은 지역을 대상으로 연구가 추가된다면 정밀 지도 제작에 적용되어 운전자의 편리성을 도모할 수 있을 것이다. 또한, 국가에서 추진하는 대축척 수치지형도 제작 시 전국을 대상으로 정확한 차선정보를 추출하고, 수치지형도의 지형·지물 표준코드에 대한 개정 검토를 통해 차선 정보가 관리될 수 있도록 제언해 보고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토공간정보연구사업의 연구비지원(14NSIP-B080144-01)에 의해 수행되었습니다. 또한, 본 연구 수행을 위해 UAV 시스템의 디지털 항공사진 영상 등의

자료를 제공해 주신 팀크웨어 관계자분들께 깊은 감사를 드립니다.

References

- Cho, J.H. (2014), *Accuracy and Economic Feasibility Study of Orthoimage Map Production using UAV*, Master's thesis, University of Seoul, Seoul, Korea, 66p. (in Korean with English abstract)
- Choi, M.W. (2010), *Strategy of Development for Korea type-Unmanned Air Vehicle*, Master's thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, 66p. (in Korean)
- Go, J.J. (2013), *Design and implementation of ontology based context-awareness platform using driver intent information in the smart car environment*, Ph.D. dissertation, Kwangwoon University, Seoul, Korea, 111p. (in Korean with English abstract)
- Hechri, A., Hmida, R., and Mtibaa, A. (2015), Robust road lanes and traffic signs recognition for driver assistance system, *International Journal of Computational Science*, Vol. 10, No.1-2, pp. 202–206.
- Heo, W.Y. (2015), Create a high-precision maps for autonomous cars, *DigitalTimes*, Seoul, <http://m.news.naver.com/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=029&aid=0002303975> (last date accessed: 18 December 2015)
- Im, H.M. (2010), *Construction and Updating of 3D Spatial Information for Small Areas using UAV*, Ph.D. dissertation, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, 123p. (in Korean with English abstract)
- Jeong, E.B. and Oh, C. (2013), Methodology for estimating safety benefits of advanced driver assistant systems, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport System*, Vol. 12, No. 3, pp. 65–77. (in Korean with English abstract)
- Jeong, I.W. (2014), *A Study on Autonomous Driving for Unmanned Vehicles*, Master's thesis, Keimyung University, Daegu, Korea, 40p. (in Korean with English abstract)
- Jin, H., Feng, Y., and Li, Z. (2009), Extraction of road lanes from high-resolution stereo aerial imagery based on maximum likelihood segmentation and texture

- enhancement, *IEEE Transactions on Digital Image Computing*, pp. 271–276.
- Kang, I.G. (2013), *The Method for Improving the Integrity of the Data from Land-based Mobile Mapping System to Create Multipurpose*, Ph.D. dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea, 99p. (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)
- Kim, S.G. (2014), *A Study on Construction and Application of Spatial Information Utilizing Unmanned Aerial Vehicle System*, Ph.D. dissertation, Mokpo National University, Muan, Korea, 161p. (in Korean with English abstract)
- Lin, Z. (2011), Chinese academy of surveying and mapping, *GIScience & Remote Sensing*, Vol 48, No. 1, pp. 1183-1186.
- Ogawa, T. and Takagi, K. (2006), Lane recognition using On-vehicle LIDAR, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 540–545.
- Park, J.H. (2013), *Robust Lane Detection Algorithm Using Adaptive Set Region of Interest and Contrast Improvement*, Master's thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea, 42p. (in Korean with English abstract)
- Park, T., Cho, J.S., and Cho, T.H. (2009), A study of lane extraction using Sobel intensity profile, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 2009, No. 5, pp. 228–230. (in Korean with English abstract)
- Seo, Y.W., Urmson, C., and Wettergreen, D. (2012), Ortho-Image Analysis for Producing Lane-Level Highway Maps, *SIGSPATIAL '12 Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, ACM, 31 August, York, USA, pp. 506-509.
- Tahar, K.N. and Ahmad, A. (2012), A simulation study on the capabilities of rotor wing unmanned aerial vehicle in aerial terrain mapping, *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 7, No. 8, pp. 1300–1306.
- Zhang, C. (2008), An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1, pp. 627–631.

