

무인항공사진측량에 의한 공간 객체의 3차원 실감모델 생성 기술

3D Reality Model Generation Technique of Spatial Objects by Unmanned Aerial Photogrammetry

□ 엄대용 / 한국교통대학교

I. 서 론

드론 기술은 크게 항공기 제작 기술, 영상획득 및 처리기술, 소프트웨어 개발기술, 항공기 운항기술 및 드론 활용기술 등으로 대별할 수 있다. 또한 각 대분류 기술에 따른 세부기술은 매우 다양하다. 드론을 활용한 다양한 민간 목적의 활용이 급증함에 따라 드론 관련 기술에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 이루어지고 있으며, 공간정보 분야에서도 드론을 이용한 대축적 공간정보의 획득에 관심이 집중되고 있다.

최근 공간정보는 특정 장소 및 객체의 위치와 형태에 관한 정보를 제공하는 수준을 넘어 정보기술(IT)과 융합되면서 다양한 첨단 기술의 창출과 진화가 이루어지고 있다. 최근 이슈가 되고 있는 무인항

공기(드론) 역시 공간정보와 융합되어 기존의 항공 사진측량 분야에 대혁신을 이끌 것으로 전망되고 있다. 무인항공기 드론은 자율비행이 가능해짐에 따라 공간객체에 대한 정보 획득에 있어 시간적, 공간적 제약을 최소화할 수 있을 뿐 아니라 저고도에서 촬영되는 영상정보는 대축적 공간정보의 획득을 위한 수단으로서 주목을 받고 있다. 이에 대축적 3차원 공간정보의 획득을 위한 사진측량 기술은 무인항공사진측량으로 전환 또는 대체될 것으로 전망되고 있으며, ‘무인항공사진측량’이라는 새로운 기술을 탄생시켰다. 여기서 저고도 촬영이 가능한 드론에 의해 획득된 영상을 이용하여 3차원 실감모델로 대표되는 대축적 3차원 공간정보의 획득기술과 측위기술에 대하여 알아보고자 한다.

※ 본 원고는 2015년 한국연구재단 기본연구지원사업(NRF-2015R1D1A1A01060007)의 지원을 받아 연구된 논문 “저가형 회전익 드론 영상을 이용한 3차원 실감모델 생성 및 측위 정확도 분석”(예술인문사회융합 멀티미디어 논문지, 제6권 제9호, 2016)의 내용을 기반으로 작성한 것임.

II. 무인항공사진측량

항공사진 측량 기술은 항공기, 비행선, 헬리콥터 등에 탑재된 측정용 카메라로 촬영된 항공사진을 이용하여 지형 및 공간객체의 형상과 위치정보를 해석함으로써 현실 세계의 객체들과 그 주변 환경에 대한 정보를 취득 및 활용하는 기술이다. 항공사진측량은 국가 지형도를 비롯한 각종 정밀 지도의 제작에 사용되어 왔으며, 최근에는 국가지리정보 구축을 위한 3차원 공간정보의 획득, 디지털 국토 구현 및 국토 모니터링을 위한 공간정보의 획득 기술로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 최근 무인항공기가 도입됨에 따라 항공사진측량은 크게 유인항공사진측량과 무인항공사진측량으로 대별하고 있다.

현행 유인항공사진측량 방법은 5cm급의 초 고해상도의 항공영상을 획득할 수 있는 디지털 항공사진측량용 카메라의 도입으로 큰 발전이 이루어졌다. 이에 따라 대축척의 정밀지도를 비롯하여 고정밀도의 3차원 공간정보의 구축과 활용이 가능해지고 있다. 그럼에도 불구하고 기존의 유인항공사진측량은 일반적으로

1000m 내외의 촬영고도에서 촬영됨에 따라 고해상도의 영상을 획득하기 위해서는 고가의 전문 카메라가 요구되며, 더불어 구름 등의 기상조건에 큰 영향을 받아 영상의 질적 저하와 영상촬영에 제한이 따른다. 사진의 촬영을 위한 작업은 사람이 직접 항공기에 탑승하여 이루어짐에 따라 경제성과 효율성이 떨어지는 문제를 안고 있으며, 항공촬영의 특성상 수직촬영방식에 의해 촬영이 이루어짐에 따라 촬영방향에 해당하는 표고정보의 경우 정확도의 저하가 발생하는 문제를 피할 수 있게 된다. 또한 수직 촬영된 영상을 이용하게 됨에 따라 3차원 실감모델 등 3차원 공간정보의 획득을 위해서는 공간 객체에 대한 지상에서의 추가적인 촬영작업이 요구되기도 하는 문제점을 가진다. 이와 같이 유인항공사진측량은 그간 국토조사 및 모니터링 분야에 지대한 역할을 하면서 큰 발전을 이루어 왔지만 여전히 영상획득을 위한 시간적, 공간적 제약과 3차원의 실감모델의 구축을 위한 추가 작업이 요구되는 문제는 여전히 해결해야 하는 과제로 남아 있다.

이에 반해 무인항공사진측량 방법은 기존의 유인항공사진측량이 가지고 있는 문제점을 상당 부분 해결

〈표 1〉 Comparison of Manned and Unmanned Aerial Surveying

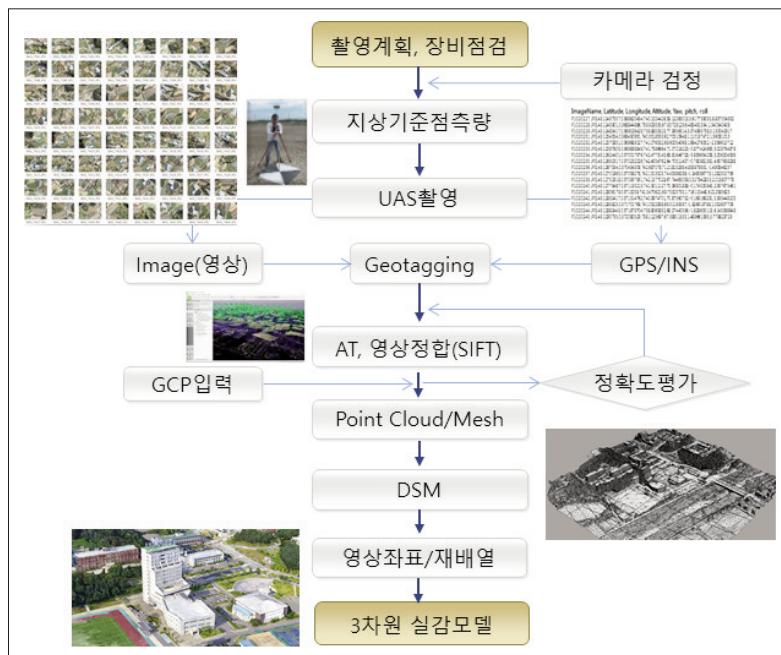
Division	Manned Aerial Photogrammetry	Unmanned Aerial Photogrammetry
Equipment Cost	Airplane, Camera etc (Approximately 2.5 billion)	Approximately 0.1 billion
Aerodrome	Need	Unnecessary(Fixed wing;Need)
Manpower	Pilot, Co-Pilot, Shooting Man	Remote Pilot
Flying Height	1,000m	150m
Flying Area	Large Scale Area (Approximately 10km ² or more)	Small Scale Area (Within Approximately 10km ²)
Flying Time	Cessna 208 Standard 6 Hours	Rotary wing(Phantom4) Standard 28minutes
Fuel	Aviation fuel is a liquid fuel (High Price)	General Battery Charging (Low Price)
Flight Permission	Flight Permission Application / Approval (Aviation administration, Ministry of National Defense)	Approval from 2013 (Aviation administration, Ministry of National Defense)
Weather Conditions	Mostly Affected	Less Affected
Application	Spatial Information Obtained of Large Scale Area Mapping : Maximum 1/1,000 Scale	Spatial Information Obtained of Small Scale Area Mapping : Maximum 1/500 Scale Disaster, Environment, Fire Fighting ETC

및 보완할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다. 우선 드론의 경우 저고도의 비행이 가능하여 중저가의 카메라로도 소요되는 영상의 해상도를 만족시킬 수 있을 뿐 아니라 필요에 따라 고해상도의 카메라를 장착할 경우 현재의 유인항공사진측량용 카메라에 비해 높은 해상도의 영상을 획득할 수 있게 된다. 더불어 드론은 낮은 고도에서 촬영이 이루어짐에 따라 구름 등 기상조건에 대한 제약도 피할 수 있게 되어 사용자가 원하는 시간에 영상을 획득할 수 있다. 또한 자율비행이 가능하여 정지, 회전, 전진 및 후진, 좌우 이동, 상승 및 하강이 자유로워 사용자가 요구하는 대상에 대해 근접촬영 및 다각도의 촬영이 가능하여 양질의 영상 획득이 가능하게 된다. 특히 회전의 드론의 경우, 카메라 마운트의 조작으로 원하는 지점에서 객체에 대한 수직 및 수평 영상의 촬영이 가능하여 객체의 3차원 실감모델 생성을 위한 영상을 비교적 쉽게

획득할 수 있었다. 그리고 드론의 경우 활주로와 같은 비행체의 이착륙을 위한 공간을 요구하지 않음으로 공간적 제약의 문제도 해소할 수 있게 된다. 이와 같이 드론은 기존 유인항공사진측량이 가지는 시간 및 공간적 제약의 해소와 함께 상존하고 있는 다양한 문제점을 해결 또는 보완할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 객체에 대한 근접 촬영을 통해 3차원 실감모델을 정밀하게 생성할 수 있게 됨으로써 대축척 3차원 공간정보의 구축과 측위 정확도의 향상에 크게 기여할 수 있는 기술로 발전할 것으로 기대를 모으고 있다.

III. 무인항공사진측량에 의한 3차원 실감모델 생성

무인항공사진측량 기술에 의해 정밀도 높은 3차



〈그림 1〉 Work Flow for 3D Realistic Modeling

원 실감모델의 생성 가능성과 그 정확도를 검토하여 제시하고자 한다. 이를 위해 중·저가형 회전익 드론을 이용하여 대상지에 대하여 근접 다각도 영상을 획득하고 처리 소프트웨어를 이용하여 3차원 모델을 생성하였으며, 실감모델의 정확도를 GPS 측위 성과와 비교하여 정확도를 검토하였다. <그림 1>은 3차원 실감모델의 생성을 위한 작업 과정을 정리하여 나타낸 것이다.

1. 회전익 드론을 이용한 영상획득

우선 본 저자가 근무하고 있는 한국교통대학교 캠퍼스의 일원을 대상지로 선정하였으며, 대상지내 각종 지형과 지물들에 대한 3차원 실감모델을 생성하고자 하였다. 앞서 기술한 바와 같이 정밀도가 높은 3차원 실감모델을 생성하기 위해서는 객체에 근접하여 수직 및 수평 영상을 포함하여 다각도의 영상을 촬영하여야 하며, 이에 따라 원격제어를 통한 정지, 수평 및 수직 이동이 가능하여야 한다. 이에 객체에 대한 다각도의 대축척 영상을 획득하기 위해 회전익 드론을 이용하여 영상을 획득하였으며, 중저가형의 모델인 DJI社의 PHANTOM4를 이용하였다(<그림 2>). PHANTOM4는 4개의 프로펠러가 장착된 회전익 쿼드콥터(Quardcopter)로서 기체에 위치제어를 위한 GPS와 방향제어를 위한 INS 가 내장되어 있으며, FC330 카메라가 장착되어 있다. 촬영 영상의 해상도는 $4000 \times 3000\text{pixels}$ 이며, 영상촬영의 안정성을 확보하기 위하여 비행자세 제어 및 장애물 회피 기능이 구현되어 있다.

수직영상은 촬영고도 150m에서 카메라 마운트를 지상과 수직으로 조작하여 촬영이 이루어졌으며, 대상지 전체를 피복할 수 있도록 가로방향 3개 및 세로방향 5개의 격자형 촬영경로를 설정하여 촬영



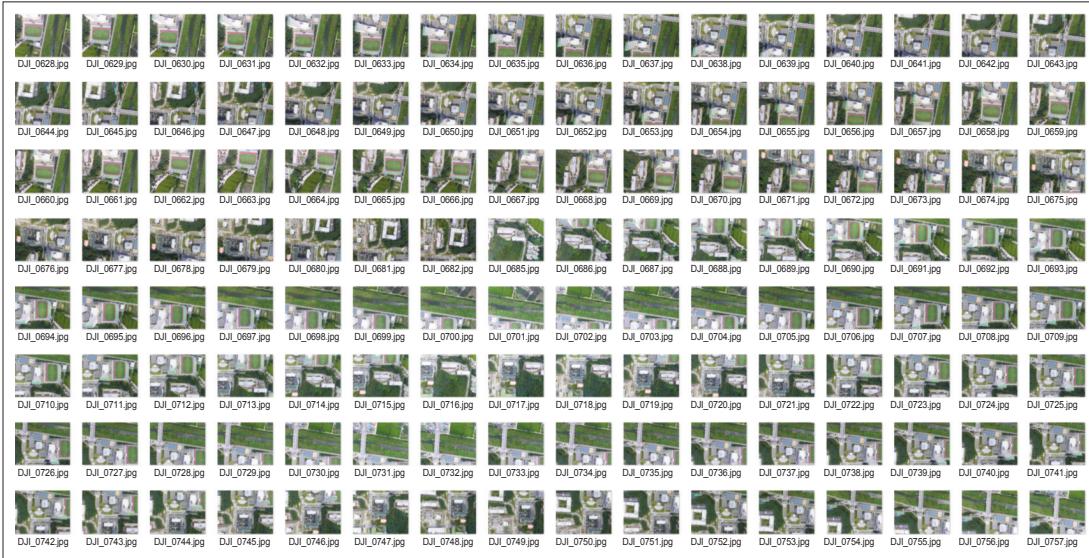
<그림 2> DJI Phantom4/Controller

하였다. 이때 입체영상의 확보를 위한 중복도는 종방향 70%와 횡방향 40% 내외로 확보하였다. 촬영 대상지 내 건물 등의 상세 모델링을 위한 수평영상은 건물로부터 15m의 거리를 이격하여 수평촬영모드로 촬영하였으며, 고층건물에 대해서는 건물 전체를 피복하기 위하여 3단 수평촬영을 실시하였다. 이와 같은 과정에 의해 수직영상 150매와 수평영상 120매를 획득하여 3차원 실감모델의 생성을 위한 입력영상으로 사용하였다.

2. 영상처리에 의한 3차원 실감모델 생성

드론에 의해 촬영된 영상을 이용하여 3차원 실감 모델을 생성할 수 있는 소프트웨어는 다수의 회사들에 의해 공급되고 있다. 이들 중 드론 영상을 활용하여 3차원 실감모델링을 지원하는 대표적인 소프트웨어를 <표 2>에 정리하였다.

본 작업에서 회전익 드론에 의해 획득된 수직 및 수평영상을 이용하여 3차원 실감모델의 생성을 위해 사용한 소프트웨어는 Bentley社의 ContextCapture 를 이용하였다. 회전익 드론에 의해 촬영된 수직영상 150매와 수평영상 120매를 입력하고, 촬영에 사용된 PHANTOM4의 FC330 카메라의 정보를 입



〈그림 3〉 Drone Image Sample

〈표 2〉 Solution for 3D Realistic Modeling

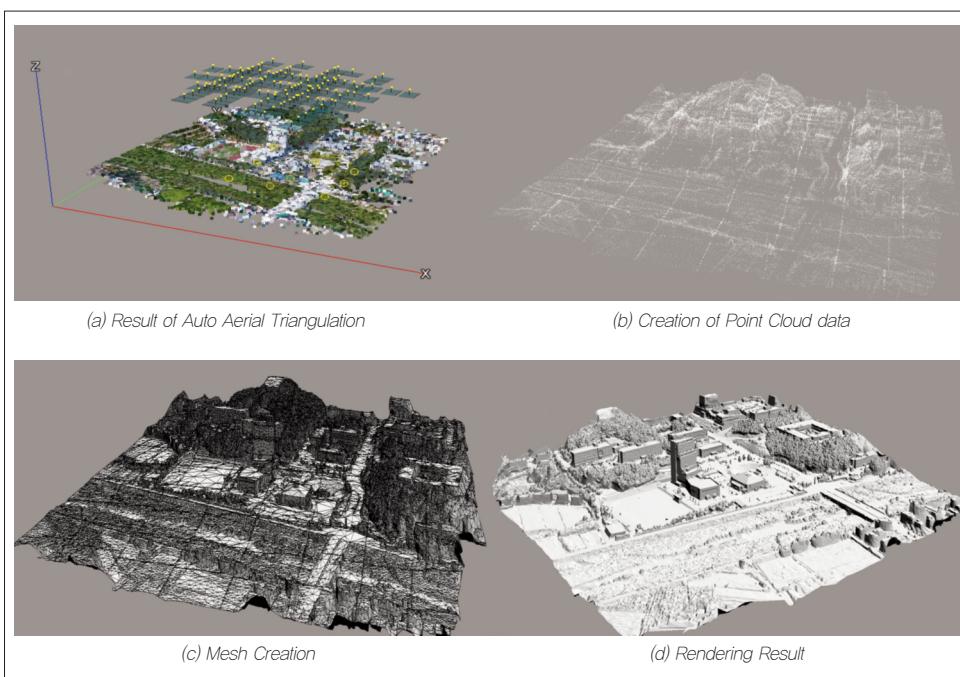
구분	ContextCapture	PhotoMesh	Pix4Dmapper	PhotoScan
보유사	Bentley	Skyline	Pix4D	Agisoft
활용영상	항공사진, UAV, 지상사진, 동영상 등	항공사진, UAV, 지상사진 등	UAV, 지상사진 등	UAV, 지상사진 등
version	Ver.4.2	Ver.7.0	Ver.2.1	Ver.1.2.5
S/W edition	ContextCapture(100 Gpixels) ContextCapture Center (Unlimited)	Basic(1 fuser, 50 Gpixels) PLUS(3 fuser, 100 Gpixels) Unlimited(unlimited) Enterprise(Government)	Mesh ag Pro Enterprise	Standard Pro
Output	3D model, TrueOrtho, DSM, Point Cloud	3D model, TrueOrtho, DSM, Point Cloud	3D model, TrueOrtho, DSM, Point Cloud	3D model, TrueOrtho, DSM, Point Cloud
3D model format	3MX, S3C, OSGB, OBJ, DAE, LOD tree, FBX, STL, KML, ESRI i3S, SpacEye3D	3dml, Citybuilder, OSGB, OBJ, DAE, TerraExplorer for Web	OBJ, FBX, PLY, DXF	OBJ, 3DS, VRML, DAE, PLY, STL, FBX, DXF, KMZ
Edit Model	3ds Max, Maya등 Microstation, Descrates	Autodesk MeshMixer	—	—
권장사양	Win7/8 64bit, 8 Core GTX780 Ti, 16GB RAM	Win7/8/10 64bit, 8 Core GPU 2GB RAM, 32GB RAM	Win7/8/10 64bit, Core i7 GPU 2GB RAM, 32GB RAM	Win7/8 64bit, Core i7, GeForce 8XX0이상, 12GB RAM 이상
장·단점	3D모델 품질우수, 호환성 좋음, 모델수정, 수개/색상수정 가능 고가	품질: Beta테스트중 Skyline제품군과 호환성 우수 고가	3D모델 품질 떨어짐 정사영상 품질우수 point 자체 수정가능 40MP 이상 Add-on필요	3D모델 품질 떨어짐 데이터 수정이 어려움 가격 저렴



〈그림 4〉 Index of GCP Surveying

력하였다. 또한 생성하고자 하는 3차원 실감모델이 실물과 동일한 좌표를 가질 수 있도록 하기 위하여 사전에 기준점(총 9개 측점)을 선정하고 현장에서 GPS 측량을 실시하여 절대좌표로 입력하였다(〈그림 4〉).

입력된 영상들로부터 영상정합(Image Matching)을 위해 식별이 용이한 특징점을 자동 추출하고 자동항공삼각측량(Auto Aerial Triangulation)을 실시하였다(〈그림 5(a)〉). 이후 영상의 정합을 위해 SIFT기법을 이용하여 자동영상정합을 실시하였다. 이와 같은 과정에 의해 수직 및 수평 영상으로부터 대상지에 포함된 각종 객체들에 대하여 0.5m 단위의 점군자료(Point Cloud)(〈그림 5(b)〉)를 추출하는 한편 추출된 점들을 상호 연결하여 메쉬(Mesh)(〈그림 5(c)〉) 형태로 변환하였다. 변환된 메쉬는 면처리를 통하여 렌더링 결과를 도출하였다(〈그림 5(d)〉).



〈그림 5〉 Process for creating 3D realistic model



〈그림 6〉 Generation of 3D realistic model for study area

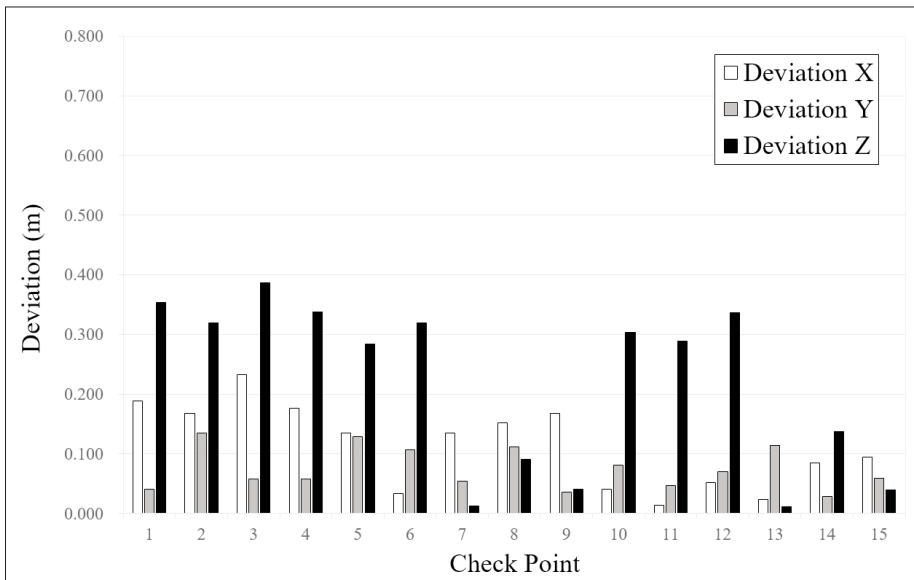
이상의 과정에 의해 도출한 렌더링 결과 등 3차원 모델링 자료와 드론에 의해 촬영된 영상을 텍스처링(texturing)함으로써 최종적인 3차원 실감모델을 생성하였다(〈그림 6〉). 그리고 3차원 실감모델이 실제 대상지의 좌표값을 갖도록 하기 위하여 영상처리의 초기단계에서 입력한 기준점 성과를 이용하여 절대좌표 체계로 전환하였다. 결과적으로 생성된 3차원 실감모델상의 모든 포인트들은 3차원의 절대좌표를 갖게 되어 실감모델상에서 측정되는 값들은 실공간상의 좌표값을 갖게 된다.

3. 3차원 실감모델의 측위 정확도 검토

무인항공사진측량 기법에 의해 생성한 3차원 실감모델의 정확도를 검토하였다. 이를 위해 3차원 실감모델에서 식별이 명확한 15점의 검사점을 선정하고 3차원 절대좌표를 획득하였다. 그리고 비교 및 분석을 위한 자료로서 동일 검사점들에 대해 현장에서 직접 GPS Network-RTK(VRS)측량 성과

를 취득하여 분석을 수행하였다. 분석 결과는 〈그림 7〉과 같으며, 검사점에 대해 3차원 실감모델에서 추출된 좌표성과와 GPS 측량에 의한 좌표성과 간의 편차를 나타낸 것이다.

분석결과, 드론의 각각도 영상을 입력하여 생성한 3차원 실감모델로부터 추출할 수 있는 절대측위의 정확도는 평면좌표의 경우 평균편차 10cm내외의 정확도를 보였으며, 수직방향의 정확도는 평면좌표의 정확도에 비해 약 2배정도 저하됨을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 항공사진측량의 측위 정확도와 유사한 패턴을 보였으나 그 정확도는 다소 떨어지고 있음을 확인할 수 있었다. 기존 항공사진측량 시스템은 영상회득을 위한 고성능 측정용 카메라를 이용하고 있고 제어를 위해 고정밀 GPS/INS로부터 취득한 자료를 이용하며 더불어 영상 및 해석자료들에 대한 각종 보정 자료가 적용되어 영상을 해석하는 반면, 본 실험에서 사용한 드론의 경우 기체의 불안정성, 중·저가형 비측정용 카메라, 일반형 GPS/INS, 카메라 렌즈에 대한 견·보정 자료



〈그림 7〉 Positioning Accuracy of 3D Reality Model

등 각종 보정 자료를 일체 사용하지 않고 3차원 실감모델을 구현하였음을 고려한다면 도출된 측위 정확도는 만족스러운 결과라 판단된다. 향후 드론에 장착되는 카메라의 성능과 구조적 안정성을 확보하고 정밀한 검·보정 자료를 사용하여 촬영 영상의 기하학적 안정성을 확보한다면 보다 정밀한 3차원 실감모델을 생성할 수 있을 것으로 확신한다. 현재 시점에서 높은 정밀도를 요구하지 않는 객체의 모델링 및 실감모델의 생성, 가상현실의 구현과 도시 모델링 및 국토 모니터링 등의 지원에 있어 무인항공사진측량은 요구하는 정확도를 충분히 만족시킬 수 있을 것이라 판단되며, 성능과 해석기법의 향상을 통해 보다 정밀한 3차원 실감모델의 생성이 가능할 것으로 사료된다. 무인항공사진측량 기술은 다각도 영상 획득의 편의성과 시간적 및 공간적 제약에 대한 해소 그리고 보다 단순화된 처리과정에 의한 고정밀 3차원 실감모델의 생성이 가능하여 작업의 효율성과 경제성이 높다고 판단되며, 대축척

3차원 공간정보의 획득 수단으로서 훌륭한 역할을 담당할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 고에서는 공간상의 지형 및 지물에 대한 3차원 실감모델의 생성을 위한 무인항공사진측량 기술을 소개하고 드론으로부터 획득되는 수직 및 수평 등의 다각도 영상을 이용하여 공간 객체에 대한 3차원 실감모델의 생성 과정과 그 정확도를 검토하여 제시하였다. 서론에서 밝힌 바와 같이 드론은 영상취득의 편리성과 영상획득을 위한 초기투자 비용을 최소화할 수 있을 뿐 아니라 시간적, 공간적 제약에서 비교적 자유로워 공간 및 객체에 대한 대축척 영상획득에 있어 매우 효율성을 가지고 있다고 할 수 있다. 더불어 이를 통해 획득된 영상을 이용하여 생성할 수 있는 3차원 실감모델은 비교적 높

은 정확도와 품질을 확보할 수 있어 사용자의 요구에 적절히 부합할 수 있는 3차원 공간자료를 충분히 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 기술의 발전과 함께 드론과 장착 기기에 대한 구조적 안정성이 확

보되고 최적의 촬영 조건을 도출하여 활용한다면 보다 높은 품질의 3차원 실감모델을 제공할 수 있을 것이며, 그 활용범위도 보다 크게 확대될 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

- [1] 김민철, 윤혁진, 장휘정, 유종수, "UAV 영상을 활용한 수변구조물 피해분석 및 정확도 평가", 한국지형공간정보학회지, Vol. 24, No. 1, pp.81-87, 2016.
- [2] 박민호, 김석구, 최승연, "무인비행시스템(UAS)을 활용한 건설현장 공간정보 구축방안에 관한 연구", 한국지적정보학회지, Vol. 15, No. 1, pp.145-156, 2013.
- [3] 박영진, 정갑용, "고정익 무인항공기를 이용한 공간정보 구축의 활용성 평가", 한국지형공간정보학회지, Vol.22, No.4, pp.159-164, 2014.
- [4] 엄대용, 송용현, "저가형 회전의 드론 영상을 이용한 3차원 실감모델 생성 및 측위 정확도 분석", 인문사회과학기술융합학회, Vol. 6, No.9, pp.235-246, 2016.
- [5] 이용창, "회전의 UAS 영상기반 고밀도 측점자료의 위치 정확도 평가", 한국지형공간정보학회지, Vol. 23, No. 2, pp.39-48. 2015.
- [6] 이인수, 이재원, 김수정, 홍순현, "초경량 고정익무인항공기 사진 측량기법의 정사영상 정확도 평가", 대한토목학회지, Vol.33, No.6, pp.2593-2600, 2013.
- [7] 이성재, 최요순, "고정익 무인항공기(드론)와 보급형 회전의 무인항공기를 이용한 지형측량 결과의 비교", 한국암반공학회지, Vol.26, No.1, pp.1225-1275, 2016.
- [8] 이지훈, 최경아, 이임평, "UAV기반 저고도 멀티센서 사진측량 시스템의 캘리브레이션", 한국측량학회지, Vol. 30, No. 1, pp.31-38, 2012.
- [9] 정성혁, 임형민, 이재기, "무인항공 사진측량을 이용한 3D 공간정보취득", 한국측량학회지, Vol.28, No.1, pp.161-167, 2010.
- [10] 최경아, 이지훈, 이임평, "저고도 무인 항공기 기반의 근접 실시간 공중 모니터링 시스템 구축", 한국공간정보학회지, Vol. 19, No. 4, pp.21-31, 2011.

필자소개



엄 대 용

- 1997년 : 충남대학교 토목공학과 졸업(학사)
- 1999년 : 충남대학교 대학원 토목공학과 졸업(석사)
- 2004년 : 충남대학교 대학원 토목공학과 졸업(박사)
- 2004년 ~ 현재 : 한국교통대학교 토목공학과 (교수)
- 주관심분야 : Photogrammetry & Remote Sensing, GIS