

건설분야에서의 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 활용 연구 동향

KICEM



박만우 명지대학교 토목환경공학과 조교수

I. 서론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)는 군사용으로 처음 시작되었으나, 요즘에는 방송, 재난구호, 취미, 그리고 물류 등 다양한 분야에서 활용되고 있고 그 외의 산업 분야에서도 활용가능성이 광범위하게 모색되고 있다. 그림1에서 볼 수 있듯이 UAV 시장은 2015년 약 80억 달러에서 2020년 100억 달러 수준으로 성장할 것으로 전망되고 있다(Business Insider 2014). 이미 다양한 업체에서 UAV 제품을 생산하고 있으며, 최근에는 인텔, 쉘컴, 아마존 등의 유명 기업들도 UAV 산업에 뛰어들고 있다. 이는 UAV 시장의 미래 가치가 크게 인정받고 있음을 입증한다고 볼 수 있다.

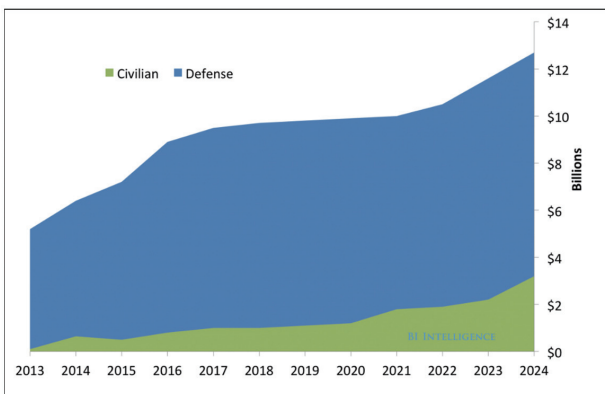


그림 1. UAV 글로벌 시장 전망 (Business Insider 2014)

UAV는 크게 회전익과 고정익으로 분류할 수 있다. 그 중에서도 요즘 각광을 받고 있는 것은 간단한 조작으로 쉽고 안정적인

인 비행이 가능한 회전익 UAV다. 회전익 UAV는 수직 이착륙이 가능하고 공중에서의 고정된 위치에 머무를 수 있는 호버링(hovering)이 가능하다는 장점을 갖는다. 조작이 쉬운 비행체라는 점만으로는 취미용 장난감 이상의 가치를 갖기는 힘들다. 카메라, GNSS(Global Navigation Satellite System) 등의 센서가 탑재되고 무선통신 기능이 더해져야 비로소 UAV의 활용도 및 가치가 높아지게 된다. 카메라를 탑재함으로써 비교적 저렴한 가격의 항공촬영이 가능해지고, GNSS 센서를 탑재함으로써 지정된 위치를 순회하는 자동비행이 가능해진다. 현재까지 UAV 활용의 대부분은 카메라와 GNSS의 두 가지 센서를 바탕으로 하고 있다.

건설분야에서 이뤄지고 있는 UAV 관련 연구 역시 카메라를 탑재하여 얻는 사진이나 영상 데이터의 활용이 주를 이루고 있다. 건설분야에서는 이미 오래 전부터 현장 데이터 수집을 위한 도구로 카메라를 사용해왔고, 영상처리 기술과 컴퓨터비전 기술을 적용하여 정보 추출 과정을 자동화하는 연구들이 꾸준히 이뤄져 왔다. 지형이나 기사공된 구조물의 3차원 모델링을 위한 point cloud 데이터를 생성하기도 하고, 균열과 같은 구조물 손상을 탐지하거나 건설장비 및 인력의 위치를 추적하기도 한다. UAV는 이러한 기술들에 사용할 데이터 수집을 원활하게 해줄 수 있는 하드웨어 중 하나인 셈이다. UAV를 사용하여 접근성을 높이고 데이터 수집을 자동화 또는 반자동화 할 수 있는 것이다. 이 글에서는 건설현장에서의 센싱 기술 활용도를 한층 높여줄 수 있을 것으로 기대되는 UAV에 대하여 소개하고, UAV를 활용한 건설분야의 해외 연구 사례들과 앞으로의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

II. 본론

1. UAV 성능



그림 2. 쿼드콥터(좌측), 헥사콥터(중간), 옥토크터(우측)

회전의 UAV는 프로펠러의 수에 따라서 쿼드콥터(4개), 헥사콥터(6개), 옥토크터(8개)로 분류해 볼 수 있다. 일반적으로 프로펠러가 많을수록 더 큰 추진력을 낼 수 있기 때문에 비교적 큰 무게를 실을 수 있고 최대속도도 높으며, 바람의 영향을 적게 받고 보다 안정적인 비행이 가능하다. 또한, 고장으로 인해 프로펠러가 1~2개 작동하지 않을 경우에도 추락하지 않고 안정적으로 착륙할 때까지 남은 프로펠러만으로 비행할 수 있는 여지를 둘 수 있다. 반면에 배터리 소모가 그만큼 높아서 비행가능 시간이 짧아진다. 배터리 성능은 비행가능 시간과 직결되며, 대부분 카메라를 탑재할 경우 최대 20분 안팎의 비행이 가능한 수준이다. 이러한 짧은 작동시간을 보완하기 위해 배터리 교체 및 충전 자동화 시스템이 개발되고 있기도 하다(Fuji 2013). 탑재 가능한 무게는 일반적으로 5kg 내외이며 최대 10kg까지 탑재 가능한 제품들도 출시되고 있다 (진정희 외 2016).

무선통신 방식으로는 일반적으로 무선주파수 방식이 사용되고 있고, 모델에 따라서는 전파 간섭이 없는 열린 공간에서의 최대 송수신 거리가 5km에 이르기까지도 한다. 전파 간섭을 감안할 경우 실질적인 조종거리는 500m 내외라고 볼 수 있다. 3G, 4G 등의 셀룰러 시스템이나 위성통신 방식을 적용할 경우 통신범위에 대한 제약은 줄어들 수 있게 된다. GNSS는 기체의 측위 정보를 제공하며 최근에 RTK(Real-Time Kinematic) 방식을 적용하여 10cm 이내 오차 수준의 정확도를 확보한 모델들이 출시되고 있다. 카메라 사용 시에는 무엇보다도 선명한 화질을 얻기 위해 카메라의 흔들림을 방지해주는 짐벌의 사용이 필수이다.

2. UAV를 활용에 관한 건설분야 연구동향

앞서 언급되었듯이 UAV와 관련된 건설분야 연구들은 컴퓨터 비전 및 영상처리 기술을 활용한 연구들의 확장이라고 볼 수 있다. 사진 또는 영상 데이터 수집에 UAV를 활용하는 것이다.

그 중에서도 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 분야가 photogrammetry를 기반으로 한 3차원 모델링이다. UAV를 이용하여 사진 촬영을 하고, 그로부터 3차원 point cloud 데이터를 획득하는 것이다. 주로 계획 및 설계 단계에서 지형을 모델링하거나, 시공 또는 유지관리 단계에서 기시공된 구조물을 모델링하기 위한 목적으로 연구가 수행되었다. 이와 같이 기존의 photogrammetry에 UAV를 활용한 측량방식은 일반적으로 레이저 스캐닝이나 RTK GNSS 방식에 비해 정확도는 다소 떨어지지만 측량 범위가 넓어 보다 큰 규모의 지형 및 구조물 모델링에 적용이 가능하다(그림3). UAV를 활용함으로써 기존 photogrammetry 방식의 정확도를 유지하거나 다소 개선하면서 측량 범위를 한층 넓힐 수 있게 된 셈이다.

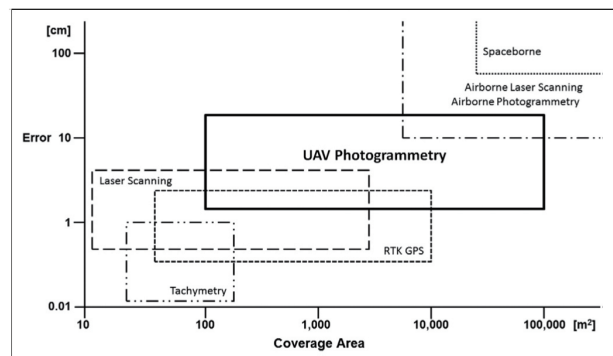


그림 3. 측량을 위한 UAV의 활용 가능 범위(Siebert 외 2014)

표1은 UAV photogrammetry와 관련된 일부 연구논문들의 내용을 정리한 내용이다. 쿼드콥터보다는 옥토크터의 사용이 많아지는 추세이며, 대부분 비행경로, 촬영위치 및 각도 등을 미리 설정하여 데이터 수집과정을 자동화하였다. 지형모델링의 경우 약 50m 상공에서 촬영하는 것이 효율적인 것으로 나타났다. 고도가 높을수록 모델링 정확도가 떨어지며, 고도가 낮을수록 각 사진에 투영된 지형의 면적이 줄어들어 보다 많은 수의 사진이 필요하게 되므로, 후처리 과정에 필요 이상의 많은 시간이 소요될 수 있다. 보다 세밀한 모델을 요하는 구조물 모델링에서는 근거리 촬영이 이뤄졌음을 알 수 있으며, sparse point cloud 생성에 그치지 않고 추가 프로세싱을 통해 dense point cloud를 생성하여 조밀한 3차원 모델을 생성하였다. 카메라 초점거리, 픽셀 수, 대상물과의 거리 등에 의해 하나의 픽셀이 차지하는 대상물 상의 실제 길이인 GSD(Ground Sample Distance)가 결정되는데, GSD가 작을수록 정밀한 측량이 가능해진다. GSD를 일정하게 유지하기 위해서 Aguera-Vega et al. (2016)과 Siebert et al. (2014)의 연구에서는 초점거리를 고

표 1. UAV Photogrammetry 관련 연구

연구 논문	비행/촬영 방식	활용 목적	UAV~ 대상물 거리 (m)	기준점 수	대상물 규모	UAV 종류	카메라 모델	픽셀 수 (Mega-pixels)	GSD (mm/pixel)
Aguera-Vega et al. 2016	자동	지형 모델링	50	10	지형면적 14,848~47,334 m ²	옥토콥터 (Mikrokopter)	Sony NEX 7	24.3 (유효 화소)	12
Siebert et al. 2014	자동	지형 모델링	50	9	지형면적 60,000 m ²	쿼드콥터 (Mikrokopter Quad XL)	Sony NEX 5N	16.1	7
Perez et al. 2015	자동	침식/퇴적 변화 측정	45	42	지형면적 101,000 m ²	쿼드콥터 (Phantom 2 Vision)	built-in 카메라	14	-
Hugenholz et al. 2014	자동	자갈더미 부피산정	-	10	L×W×H: 77m×46m×7m	쿼드콥터 (Aeryon Scout)	Photo 3S	-	-
Rodriguez-Gonzalez et al. 2014	자동	변전소 모델링	30	8	변전소 면적 2,200 m ²	옥토콥터 (Mikrokopter)	Olympus E-P1	12.3 (유효 화소)	9
Hallerann et al. 2015a	수동	문화유산 건축물 모델링	12	14	타워높이 57m	옥토콥터 (Falcon 8)	Sony Alpha 7R	36	1.34
Hallerann et al. 2015b	자동	옹벽 모델링	35	7	옹벽면적 12,000 m ²	옥토콥터 (Falcon 8)	Sony Alpha 7R	36	1.6

정식한 후, 일정한 고도를 유지하도록 비행을 계획하였다. 생성된 모델을 절대 위치로 보정하기 위한 위치참조 과정에 기준점들이 사용되었는데, 일반적으로 기준점을 많이 사용할수록 보다 높은 정확도를 확보할 수 있다.

Aguera-Vega et al. (2016)의 연구에서는 수평 및 수직(고도)방향 측위 오차가 모두 평균 5cm 수준인 것으로 보고되었다. Siebert et al. (2014)의 연구에서는 수평 및 수직방향 평균 오차가 각각 0.6cm, 1.1cm인 것으로 보고되었고, 총 소요 시간을 RTK GNSS 방식의 1/3 수준으로 단축시켰다. Rodriguez-Gonzalez et al. (2014)의 연구에서는 변전소의 모델링 정확도가 약 1cm 정도인 것으로 보고되었다. 그림4는 지속적으로 기울고 있는 타워를 3차원 모델링한 연구 결과를 보이고 있다. 우측은 사진 촬영 위치를 보이고 있으며, 비행이 수직방향으로 이뤄졌음을 짐작할 수 있다. 3차원 모델은 3억 개의 점으로 이뤄진 dense point cloud로부터 6,200만 개의 mesh를 생성한 결과이다.

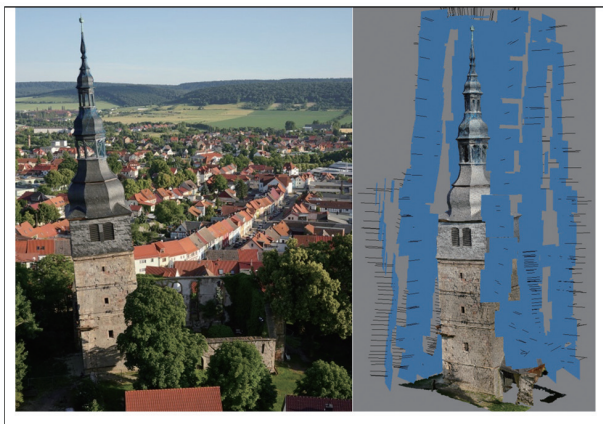


그림 4. UAV를 활용한 구조물 3차원 모델링(Hallerann et al. 2015a)

UAV는 구조물의 손상탐지를 목적으로도 활용도가 높을 것으로 기대되고 있으며, 활발한연구가 이뤄지고 있는 분야 중 하나이다. 규모가 큰 장대교량이나 고층 빌딩은 접근성이 떨어져 육안 점검이 어렵거나 위험요소가 많은 경향이 있다. UAV를 사용하면 규모에 구애받지 않고 구조물 촬영이 가능하여 촬영된 영상을 통해 육안점검이 가능해진다(Yang et al. 2015). 별도의 후처리 과정 없이 영상 데이터의 수집만으로도 대규모 구조물의 점검의 효율성을 높일 수 있는 것이다. Fernandez Galarreta et al. (2015)은 별도의 후처리 과정을 통해 UAV로 촬영된 사진 데이터로부터 빌딩 벽면의 손상(균열, 타일 박탈)을 자동 탐지하는 연구결과를 보이기도 하였다. 이와 같이, 아직은 카메라를 기반으로 한 연구들이 주를 이루고 있으나, 그 외에 RGB-D 센서를 탑재하여 빌딩의 3차원 모델을 생성하는 연구도 발표된 바 있으며, RFID (Radio Frequency Identification) reader를 탑재하여 현장에서의 자재관리에 활용하는 연구와 실제 적용 사례들도 소개된 바 있다(Swedberg 2015).

III. 결론

건설 혁신을 위한 노력의 일환으로 건설정보화에 대한 연구 개발이 꾸준히 이뤄지고 있다. 유용한 건설정보의 생산을 위해서는 빠르고 정확한 현장 데이터의 수집·저장·처리가 필수이며, 이 중 첫 단계인 데이터 수집의 효율성을 높이고 범위를 확장하기 위해 다양한 센서의 도입이 시도되고 있다. 기동성과 확장성을 갖춘 UAV는 이러한 센서의 활용도를 한 단계 높일 수 있는 플랫폼으로 많은 관심을 받고 있다. 공간적 제약 없이 어디든 민첩하게 접근할 수 있으며, 다양한 센서를 탑재하여 활

용할 수 있는 종합적 센싱 플랫폼으로서의 활용이 가능하다. 건설분야 연구동향을 살펴보면 UAV 카메라로 촬영된 사진데이터 수집 및 활용에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 사진데이터의 후처리 과정은 일반 사진데이터 처리 과정과 다를 바가 없으며, 다만 높은 정확도를 확보하기 위한 UAV의 운용 및 촬영방식이 새로운 부분이라 할 수 있겠다. 촬영 대상물과의 거리, 비행속도, 촬영 각도 등의 영향인자에 따른 후처리 결과의 정확도 비교·검증이 주요 내용이라고 볼 수 있다.

카메라 외에 레이저 스캐너, 열적외선 카메라, 스테레오 카메라 등 보다 다양한 센서들을 탑재하여 활용하는 연구와 더불어 센서 및 대상개체의 종류에 따른 최적의 UAV 운용 방안에 대한 연구들을 기대해 볼 수 있을 것이다. UAV를 종합적인 센싱 플랫폼으로서 활용하고 그 효율성을 극대화하기 위해서는 복잡한 현장에서도 저고도 비행이 가능한 자율비행 기술이 필요할 것으로 생각된다. 이미 장애물을 인식하여 비행경로를 자동 조정하는 기술이 개발되고 있는데, 좀 더 나아가 센싱 데이터들을 기반으로 현장 상황을 파악하고 대처할 수 있는 UAV 인공지능 알고리즘에 대한 기술 개발과 다수의 UAV 기체 운용에 대한 연구들을 기대해 볼 수 있을 것이다. 현장 곳곳의 데이터를 수집하여 송수신하는 UAV의 개발은 IoT 현실화에 한 걸음 다가갈 수 있는 밑바탕이 되지 않을까 생각해 본다.

참고문헌

진정희, 이귀봉 (2016) “무인기/드론의 이해와 동향”, 한국통신학회지 (정보와통신) 제33권 제2호, 80-85.

Aguera-Vega, F., Carvajal-Ramirez, F. and Martinez-Carricondo, P. (2016) “Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry” *Journal of Surveying Engineering*.

Business Insider (2015) “THE DRONES REPORT: Market Forecast For The Growing Business Opportunity In Commercial Aerial Drones”, <<http://www.businessinsider.com/the-market-for-commercial-drones-2014-8>>

Fernandez Galarreta, J., Kerle, N. and Gerke, M. (2015) “UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning” *Natural Hazards and Earth System Science*, 15, 1087-1101.

Fuji, K., Higuchi, K. and Rekimoto, J. (2015) “Endless flyer: A continuous flying drone with automatic battery

replacement” *Proc. of 2013 IEEE International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing*.

Hallermann, N., Morgenthal, G. and Rodehorst, V. (2015a) “Vision-based monitoring of heritage monuments: Unmanned Aerial Systems (UAS) for detailed inspection and high-accuracy survey of structures”, *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*.

Hallermann, N., Morgenthal, G. and Rodehorst, V. (2015b) “Unmanned Aerial Systems (UAS) – Case studies of vision based monitoring of ageing structures” *Proc. of International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering*.

Hugenholtz, C.H., Walker, J., Brown O. and Myshak, S. (2014) “Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry” *Journal of Surveying Engineering*, 141 (1).

Perez, M.A., Zech, W.C. and Donald, W.N. (2015) “Using unmanned aerial vehicles to conduct site inspections of erosion and sediment control practices and track project progression” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 2528, 38-48.

Roca, D., Laguela, S., Diaz-Vilarino, L., Armesto, J. and Arias, P. (2013) “Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building facades” *Automation in Construction*, 36, 128-135.

Rodriguez-Gonzalez, P., Gonzalez-Aguilera, D., Lopez-Jimenez, G. and Picon-Cabrera, I. (2014) “Image-based modeling of built environment from an unmanned aerial system” *Automation in Construction*, 48, 44-52.

Siebert, S. and Teizer, J. (2014) “Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system” *Automation in Construction*, 41, 1-14.

Swedberg, C. (2014) “RFID-Reading Drone Tracks Structural Steel Products in Storage Yard” *RFID Journal*, <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?12209>>

Yang, C.-H., Wen, M.-C., Chen, Y.-C. and Kang S.-C. (2015) “An optimized unmanned aerial system for bridge inspection” *Proc. of the 32st ISARC*, 1-6.