

## 건설산업에서의 드론(Unmanned Aircraft System) 활용에 관한 최근 연구 동향 및 시사점



김성진  
Assistant Professor, University of Alabama, sungjin.kim@eng.ua.edu

### 1. 서론

최근 다양한 분야에서 드론기술의 활용에 관한 연구가 전 세계적으로 지대한 관심을 받고 있다. 특히, 건설산업에서는 드론을 이용한 건설사업관리(안전, 품질, 공정관리 등) 뿐만 아니라 유지보수 및 관리, 측량, 디자인 단계에서의 활용도 강조되고 있다. 드론(drone)은 보통 무인항공기(unmanned aircraft system, UAV)로 널리 쓰여 왔으나, 최근 미국 연방 항공청(Federal Aviation Administration, FAA)에서는 최근 드론의 공식명칭을 무인 비행시스템(unmanned aircraft system, UAS)로 명명하였다. 이는 드론은 하나의 비행 플랫폼이며, 드론의 항해와 데이터 수집을 위한 센서, 지상의 명령센터(ground control center), 조종사와 함께 전체를 아울러 하나의 시스템으로 보기 때문이다. 2016년에는 드론의 상업적 활용에 있어서 안전한 비행을 위한 법이 제정되었으며[1], 이는 무게 25kg(55lb) 이하의 드론이 최고 비행속도 44.7m/s(100mi/h) 이하로, 최대높이 121.92m (400f) 이내에서만 비행이 가능하도록 규제하고 있다. 더불어 조종사는 드론비행 자격증을 소지하고 있어야 하며, 특별한 허가 없이 보행자 및 차량 트래픽 상공에서는 비행을 철저히 금지하고 있다(그림 1). 이러한 규제는 드론기술의 연구나

활용에 제약을 가하고 있기도 하지만, 안전한 비행을 위해서는 필수라고 할 수 있겠다. 이에 따라, 드론의 건설산업 활용에 관한 연구 및 실제 사용 또한 상업적 사용의 범주에 포함되므로 각 나라의 관련법에 대한 배경지식은 필수라 할 수 있다. 본 고에서는 드론의 건설산업 활용에 대한 배경과 이해를 돕는 관련 지식을 소개하고, 관련된 연구 동향과 향후 과제에 대해 살펴보고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 저자 간략 소개

본 저자는 2018년 8월부터 미국 앨라배마 주립대(University of Alabama)에 조교수로 근무하고 있으며, 조지아 공과대학교(Georgia Institute of Technology)에서 건축공학 박사학위, 캘리포니아 주립대학 버클리(University of California, Berkeley)에서 토목공학 석사학위를 받았다. 현재 연구 주책임자로서 학교지원 과제(University of Alabama and Construction Administration)와 미국 교통국(US Department of Transportation, DOT)의 연구를 진행하고 있고, 공동연구 책임자(Co-Principal Investigator)로 미국 연구재단(National Science Foundation, NSF)의 연구를 맡고 있다. 연구 관심



그림1. 드론 플랫폼 및 드론 자격증(사진: 김성진)

분야로는 정보기술의 건설산업 접목과 인간-기술 상호교류(human-technology interaction, HTI)등이 있다. 또한 본 저자는 미국 조지아 교통국(Georgia DOT)에서 교통국의 드론 활용방안과 매뉴얼 개발에 3년간 연구원으로 참여하였다.

### 2.2 건설산업시장에서의 드론활용 전망

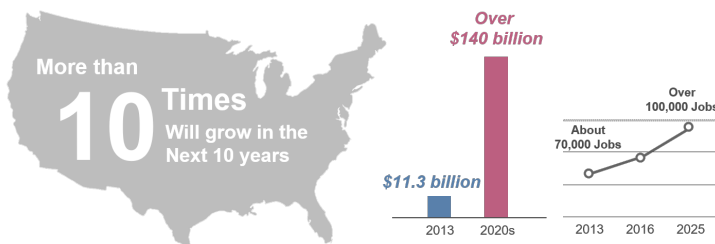
국제 무인 시스템 협회에서는 미국 내 드론시장은 2020년대에는 10배 이상으로 성장할 것으로 예측하였고(약 1400억 달러 규모), 2025년에는 관련된 직업이 10만개를 넘어설 것으로 전망하고 있다[2]. 최근 조사에 따르면 건설산업에서의 드론활용의 비중이 전체 산업의 35%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며[3], 이는 드론의 사용이 건설산업 전반에 미치는 효율과 이익의 효과가 다른산업에 비해 높다는 것을 반증하기도 한다(그림 2). 건설산업에서의 드론은 비교적 빠르고 효과적으로 2차원 사진정보(photography) 또는 3차원 데이터(3D model)를 수집하고 처리할 수 있다. 수집된 2차원 사진정보는 영상 처리 기법을 통하여 특정 정보를 추출하는데 이용되기도 하며, 3차원 지리정보 모델을 구현하는데 사용 되기도 한다.

### 2.3 드론의 건설산업 활용에 관한 연구 동향

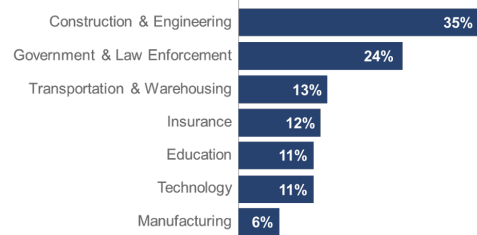
드론은 기본적으로 위치 항법 센서(global positioning sensor, GPS)를 탑재하고 있으며, 이는 비행 중 드론의 위치를 위성신호를 통하여 파악할 수 있도록 하는 역할을 한다. 지상의 커맨드 센터에서는 비행제어 시스템을 통해 드론을

특정지역(point of interest, POD)로 보내어 비행하고, 관련 정보를 수집할 수 있게 한다. 이러한 과정을 통해 드론은 건설현장에서 여러 가지 요소들을 모니터링 할 수 있다(그림 3).

건설산업에서의 드론관련 연구는 분야에 따라 크게 안전(safety), 공정 및 품질(progress/quality), 측량(survey)과 유지보수(maintenance)에 초점을 두고 있다. 또한, 연구의 접근 방법에 따라서는 사용성 분석 연구(feasibility, factors, and performance), 위 분야에 접목과 사용에 관한 연구(applications)로 분류할 수 있다. 건설현장에서의 안전관리는 최우선으로 고려되어야 할 중요한 항목이다. 전통적인 안전관리 방식은 관리자가 현장에서 관련항목을 하나씩 체크를 하고 평가를 하는 방식이었으나, 최근에는 드론을 이용하여 관련 항목들을 모니터링 하는 방식을 연구하고 있다. 드론을 이용하여 작업자의 안전모 착용여부를 확인하는 방식으로 안전 모니터링 방법론이 제시된 이후[4], 안전 모니터링에 관한 연구가 활발히 진행 되었다. 드론활용을 촉진하기 위한 연구로 사용자 평가성(usability assessment)을 분석하였고[4], 건설 모니터링에 관련된 요인들을 찾고 중요도를 분석하기도 하였다[5]. 그 외에도 드론의 건설 프로젝트 안전 모니터링을 위한 필수조건들과 적용가능성에 대한 연구 결과도 최근 제시가 되었다[6]. 최근 건축물 정보모델(building information modeling, BIM)과 드론을 접목하여 건설 안전관리 툴을 개발하여 제시하기도 하였다[7].



(a) UAS Market Forecast in the United States



(b) UAS Adoption by Industry

그림 2. 드론 시장 전망 및 건설산업에서의 드론 활용(그림: 김성진)



그림 3. 드론을 이용한 건설현장 모니터링 및 제어시스템(사진: 김성진)

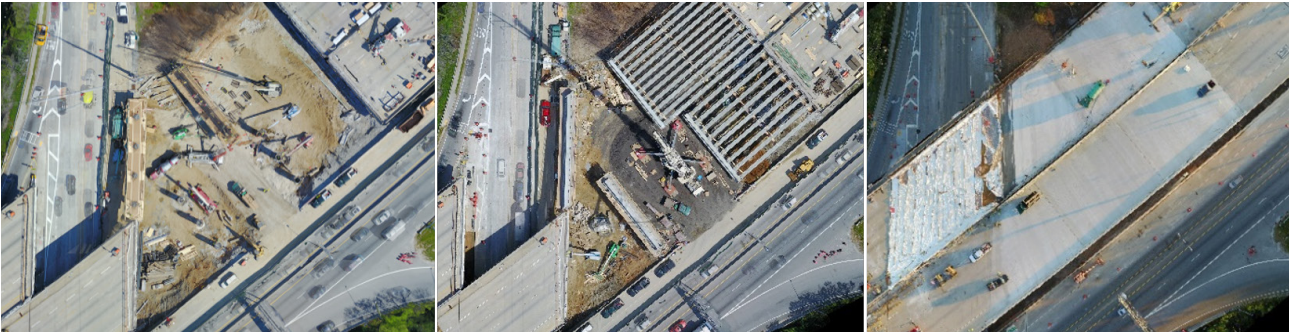


그림 4. Orthomosaic을 이용한 다리 건설 진행 모니터링(사진 및 모델링: 김성진)

드론은 공정 및 품질관리에 있어서도 많은 연구가 진행되고 있다. 가장 기본적으로 드론으로부터 수집된 2차원 항공사진은 영상처리 기법을 통해 하나로 합쳐져 orthomosaic 모델로 구현이 가능하며, 이는 한번에 넓은 반경의 프로젝트 상황을 모니터링 할 수 있도록 한다. 프로젝트의 진행상황을 간편하게 체크 할 수 있다(그림4). 또한 다양한 요소들에 대한 정보를 추출하거나 측정이 가능하므로, 품질관리에도 도움을 줄 수 있다. 더불어 드론으로 얻어진 2차원 이미지는 각각의 이미지에서 겹치는 지리정보를 매치하여 3차원 모델을 형성할 수 있다. 가장 기본적인 3차원 모델로는 point cloud model과 digital elevation model이 있으며(그림 5), 이러한 3차원 모델은 Scan-to-BIM기법을 통해 BIM의 3차원 모델로 변환이 가능하다. BIM환경에서 as-built model과 as-planned model의 비교를 통한 공정 및 품질관리에 관한 연구도 최근 이루어 지고 있다[8-10]. 또 한 시설물의 유지보수에도 드론의 3차원 정보모델을 이용한 연구들이 활발히 이루어 지고 있다. 본 저자는 드론의 3차원 정보모델을 이용하여 공항 인근의 장애물을 판단하고 측정하여 의사결정과정에서 사용할 수 있는 방법을 제시하기도 하였다[11](그림 5).

영상 처리기법을 이용하여 생성된 드론의 3차원 모델은 건설현장에서 측량 및 토공사에도 많이 사용되고 있다. 대표적으로는 3차원 모델을 이용하여 토공사 양을 측정하는 연구

를 하였다[12]. 기존의 방식으로는 덤프트럭 한 대당 적재량을 통하여 토공사 양을 예측하였으나, 드론의 3차원 모델을 이용한 측정방식도 제시되고 있다. 최근에는 Pix4D사의 Mapper 또는 Agisoft사의 Photoscan등 영상처리 통합 툴들이 발표되면서 손쉽게 3차원 공간정보모델을 이용하여 측량을 할 수 있게 되었다(그림 5). 하지만, 여전히 측량에 있어서의 정확도에 대한 문제점이 대두되고 있고, 이에 대해 영상 처리시 교정(calibration) 및 데이터 통합(paring)에 관한 연구가 이루어 지고 있다. 또 한 측량의 정확도를 증가시키기 위해 측량시 지상기준점(ground control-point, GCP)을 설치하여 절대좌표로 활용하기도 한다. 이 점을 통하여 특정 위치의 절대좌표를 추출하여 드론 GPS로부터 얻은 좌표와 비교를 통하여 오차범위를 확인하고 교정을 할 수 있다. 이는 3차원 모델의 정확도를 향상시킬 수 있다. 3차원 모델은 측량뿐만 아니라 유지보수, 공정관리에도 이용이 많이 되므로 최근 건설산업에서 드론을 사용하기 위해서는 GCP와 교정에 대한 이해가 필수라고 할 수 있다. 본 저자는 최근 머신러닝을 활용한 드론의 측량에서의 활용 및 적산예측 모델을 연구하고 있으며, 이는 건설 프로젝트의 디자인과 측량 단계, 관리단계의 자동화 프로세스에 긍정적인 효과를 가져다 줄 것을 기대하고 있다.

최근 드론기술의 접목 확대를 위한 연구와 실험이 건설산업 전반에서 이루어지고 있다. 앞서 언급하였듯이, 드론의 2차

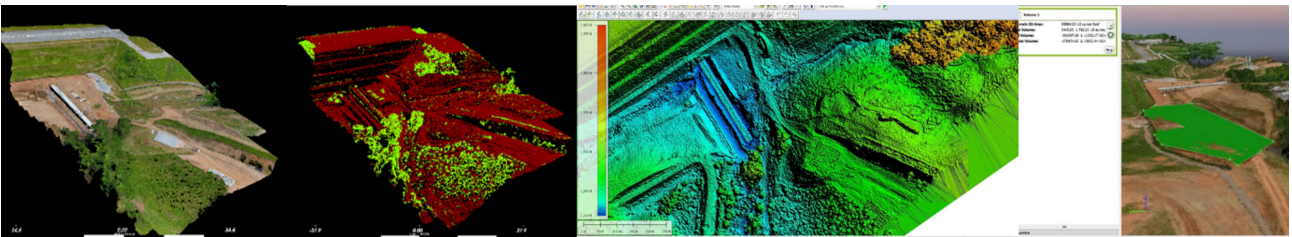


그림 5. 3차원 모델과 클러스터를 통한 드론 데이터의 활용[12]



그림 6. 증강현실, BIM, 드론의 3차원 모델 접목을 통한 건설 프로젝트 진행 모니터링 시스템 [13]

원 사진정보, 3차원 공간정보는 BIM 모델과 함께 많이 사용되어 지고 있으며, 이에 최근 증강현실(augmented reality) 기법이 BIM모델과 드론과 함께 사용되어 건설 프로젝트의 진행사항을 모니터링 하고 관련정보를 작업자에게 직관적으로 보여줄 수 있는 툴이 개발 되었다[13](그림 6). 또 한, Scan-to-BIM 프로세스에서 머신러닝을 이용하여 객체들의 특성을 파악하여 자동으로 변환하는 연구도 활발하게 이루어 지고 있다. 더불어, 저자는 BIM모델 내에서 드론을 제어할 수 있는 드론 항법장치를 접목하는 방안에 대해 연구하고 있는 중이다. 현재 항법장치는 구글지도(Google map)와 같은 일반 위성지도에서 드론의 비행계획을 세우고 조종하는 방식을 취하고 있으나, 이는 건설 프로젝트의 진행사항을 빠른 시간내에 반영하기 어려운 한계점을 가지고 있다. 다시 말해, 위성지도에 반영되지 못한 구조물에 대한 정보가 비행계획에 반영되지 못한다면, 이는 구조물과 드론의 충돌뿐만 아니라, 2차 사고를 일으킬 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다 할 수 있겠다.

마지막으로, 건설현장에서 드론사용에 있어, 기술중심(technology perspective)의 관점이 아닌 사람중심(human perspective)의 관점에 대한 연구도 최근에 발표된 바가 있다. 이는 드론을 활용하는데 필요한 관련 stakeholders의 역할 분담, 상호간 의사결정과정, 훈련 및 업무처리능력(task performance)에 대한 필요성이 대두되었기 때문이다. 본 저자는 드론 조종사의 드론을 이용하여 데이터를 안전하게 수집하는 업무처리 능력과 그들의 상황인지능력(cognitive performance)의 상관관계를 분석하였다[14]. 심리학 연구에 따르면, 로봇이나 기술을 접목할 때, 인간의 업무처리능력이 전체 효율성과 생산성에 영향을 미친다고 발표 한 바가 있다[15]. 이는 드론과 기타 정보기술을 건설현장에 접목할 때 중요하게 생각해 볼 필요가 있는 부분이라 할 수 있다.

또 한, 관련자들의 드론의 효과적이고 안전한 사용을 위한 훈련을 위한 업무분석에 관한 연구도 이루어지고 있다. 이는 팀 단위로 이루어지는 건설산업에서 드론활용을 위하여 필수라 할 수 있다. 더불어, 드론 사용시 현장에서의 작업자 반응 및 인지도 생각해 볼 대목이다. 작업자들이 어떻게 받아들일지나에 따라 그들의 생산성과 안전에 영향을 줄 수 있기 때문에, 이렇듯, 최근 건설산업에서는 이러한 사람중심의 기술접목에 대하여 관심을 가지고 있으며, 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

## 2.4 드론활용에 관한 시사점

이상에서 살펴본 드론의 활용분야와 건설산업에서의 관련 연구 동향 고찰을 통하여 몇 가지 시사점을 얻을 수 있었다. 첫째, 건설분야에서 드론의 활용에 관한 연구는 어플리케이션 위주의 연구로 진행되고 있음을 알 수 있다. 이는 드론에 관련된 기술을 어떠한 방식으로 적용할 수 있을지에 대한 방향성을 제시하고 있다. 하지만, 동시에 드론의 실제 활용도를 높이기 위한 효용성 분석, 상호결정 과정에 대한 기준 제시 등 기술 접목의 관점의 연구도 필요함을 강조할 수 있겠다. 둘째, 드론에 관한 연구는 최근 다른 기술과의 접목 또는 자동화 촉진에 초점을 맞추고 있다. 연구 생산성을 높이기 위해서 다른 분야와의 협력이 절실하게 요구가 되고 있다. 협업을 통하여 드론사용 또는 정보처리 기술에 있어서 자동화의 촉진이 기대된다. 셋째, 드론의 통하여 얻어지는 방대한 양의 데이터 관리 플랫폼의 필요성이 대두된다. 이는 본 저자가 교통국과의 연구과제에서 가장 많이 받은 피드백으로써, 2차원 사진정보, 비디오, 또는 3차원 공간정보는 다른 데이터들에 비해 큰 용량을 필요로 하며, 처리하는데 시간이 걸리기 때문이 이를 관리하고 하나로 묶을 수 있는 플랫폼의 필요성이 요구되고 있다. 마지막으로, 사람중심의 연구방향에 대한 고찰도 필요하다. 건설산업에서 자동화에 관한 연구

가 이루어지고 제시되고 있으나, 여전히 인력중심의 산업으로써, 기술접목이 사람의 생산성 및 안전, 그리고 프로젝트 자체의 생산성에 미치는 영향도 중요하다 할 수 있다.

### 3. 결론

본 고에서는 건설산업의 드론의 활용에 관한 연구들에 대해 살펴보고, 그에 따른 시사점에 대하여 고찰하여 보았다. 다양한 산업에서 드론활용에 관한 연구가 쏟아져 나오는데, 건설산업은 드론의 사용으로부터 가장 큰 효과가 기대되는 산업분야이다. 건설산업에서 다양한 목적으로 사용될 수 있는 가능성이 제기되고 연구가 진행되고 있으나, 효용성과 사용성에 관한 의문이 남아있으며, 다른 정보기술들과의 접목을 통하여 보다 더 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 본 저자는 드론의 건설산업 접목을 위한 연구를 계속해서 진행 중에 있으며, 4차 산업혁명 시대에 있어서 미래 건설산업에 조그만 기여를 하고자 하는 바람이 있다. 이번 학회 기고문이 스마트 건설(smart construction), 건설 자동화(construction automation), 드론의 활용 등에 관심 있는 많은 연구자와 실무자에게 미약하나마 도움이 되길 소망한다.

### 참고문헌

1. Federal Aviation Administration (2019), Certificated Remote Pilots including Commercial Operators [https://www.faa.gov/uas/commercial\\_operators/](https://www.faa.gov/uas/commercial_operators/)
2. Jenkins, D. and Vasigh, B. (2013) "The Economic Impact of UAS Integration in the U.S." Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), [https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New\\_Economic%20Report%202013%20Full.pdf](https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf)
3. Skyward (2018), "2018 Industry Report - State of Drones in Big Business", <https://go.skyward.io/rs/902-SIU-382/images/2018%20State%20of%20Drones.pdf>
4. Irizarry, J.; Gheisari, M.; Walker, B.N (2012) Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. International Journal of Information Technology in Construction. 17, 194-212.
5. Kim, S.; Irizarry, J.; Costa, D.B. (2016) Potential Factors Influencing the Performance of Unmanned Aerial System (UAS) Integrated Safety Control for Construction Worksites. In Proceedings of the Construction Research Congress (CRC) 2016; San Juan, Puerto Rico, 2016; pp. 2614-2623.
6. Gheisari, M.; Esmaeili, B. (2019) Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. Safety Science, 118, 230-240.
7. Alizadehsalehi, S.; Yitmen, I.; Celik, T.; Arditi, D. (2018) The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 1-16.
8. Han, K., Cline D., and Golparvar-Fard, M. "Formalized knowledge of construction sequencing for visual monitoring of work-in-progress via incomplete point clouds and low-LoD 4D BIMs." Advanced Engineering Informatics 29.4 (2015): 889-901.
9. Hitech (2019) "Point Cloud to BIM", <https://www.hitechcaddservices.com/bim/support/point-cloud-to-bim/>
10. Moeini, S., Oudjehane, A., Baker, T., & Hawkins, W. (2017). Application of an interrelated UAS-BIM system for construction progress monitoring, inspection and project management. PM World J. VI (VIII), 1-13.
11. Kim, S., Paes, D., Lee, K., Irizarry, J., & Johnson, E. N. (2019). UAS-Based Airport Maintenance Inspections: Lessons Learned from Pilot Study Implementation. In ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019 American Society of Civil Engineers, 382-289
12. Siebert, S.; Teizer, J. (2014) Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction 41, 1-14.
13. SPAR3D (2016), "How Drone Videos and Augmented Reality can Help monitor Construction Projects" <https://www.spar3d.com/blogs/guest-blog/monitor-construction-with-ar-from-drone-videos/>
14. Kim, S., and Irizarry, J. (2019). Human performance in UAS operations in construction and infrastructure environments. Journal of Management in Engineering, 35 (6), 04019026.
15. Kuutti, K. 1995. Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research. Activity theory and human-computer interaction, 17-44.