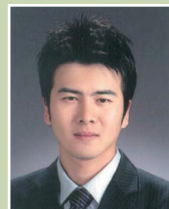


UAV를 활용한 토공 현장용 Global Map Model 생성기술

권순욱 성균관대학교 건축토목학부 교수
강성민 한국플랜트관리 차장



1. 서론

2차 세계대전이 종료되고 전쟁 참전국들은 전후 전쟁의 정리를 위해 많은 고민을 하게 된다. 그 중 하나는 남은 전쟁물자의 처분이었다. 수명을 다한 남은 유인항공기들은 그때나 지금이나 고가의 물건으로 이를 좀 더 유용하고 이용하려고 했고 이것이 UAV(Unmanned Aerial Vehicle, 이하 UAV), 또는 드론(Drone)이라 불리는 조종사를 탑승하지 않고 지정된 임무를 수행할 수 있도록 제작된 비행체의 초기 모델이 되었다.

초기 UAV는 1900년대 전쟁이 만발하던 시대의 사회적 영향을 받아 전투와 정찰용으로 미국에서 개발되었다. 그 외 국가들 역시 경찰과 전투용으로써의 가능성을 인지하였고 이를 통해 UAV 연구가 시작되게 된다. 1950년대, 이전까지 전투용으로 사용되던 무인항공기는 베트남전을 거치면서 점차 적진 감시 등의 정보 수집 목적으로 이용되었다. 이전까지는 UAV를 군사 목적의 용도로 사용하였으나, 이후로는 정보 획득을 위한 용도로 이용하게 되는 전환점이 되었다.

정보수집으로 UAV의 목적이 전환됨에 따라 UAV에 관심을 보이는 분야 역시 전환되어, 개인 취미 생활과 산업에서의 활용으로 용도 전환이 이루어졌다. 현재 각종 산업에서 UAV의 비행기능을 활용하여 산업에 적용하고 있다.

2025년 전세계 상업용 드론시장은 17억 달러에 달할 것으로 Lux Research는 전망하고 있으며, 전력/석유/가스 네트워크, 댐, 비즈니스 현장 및 물류창고 감시등의 분야에서 응용 될것이며, 그 금액은 전력 네트워크 및 석유/가스 파이프 라인 감시용 드론 시장규모는 2.69억 및 2.47억 달러에 이를 것으로 내다 보았다.

또한 광산, 채석, 부동산 프로젝트 지도제작과 농지, 삼림, 작물 모니터링에 사용되는 드론 역시 주요 응용 분야로 예상하고 있으며, 2025년 전세계 농업용 드론시장규모가 3.5억 달러에 달 할 것으로 전망하였다.

상업용/건설용 드론의 응용분야로는 배달(Delivery)과 사진촬영이 주 분야가 될 것으로 보이나, 배달 거리나 중량의 제한, 무허가 사진촬영등과 같은 제한요소를 극복해야 할 과제로 내다보고 있다.

상업적 용도 외적으로는 조난자 수색, 접근이 어려운 지역에 대한 생필품/의약품 지원과 같은 인도주의적 차원의 드론 활용으로 고평가 받고 있다. 그러나 이를 악용한 불법·금지 물품의 거래, 운반, 밀수 등에 드론이 악용될수 있는 우려도 제기되고 있다.¹⁾

산업부분에서 UAV를 활용한 정보 수집에 가장 관심을 보이는 분야는 건설토목 분야이다. 건설토목분야는 빠르고 정확하게 대규모 지형 정보를 획득 할 수 있다는 점에 초점을 맞추어, UAV를 활용한 실시간 현장 정보 획득에 이용하고 있다. 본고에서는 UAV의 시장 및 응용분야와 현재 상용 중인 소프트웨어/하드웨어를 분석하고, 건축/토목 현장에 효율적인 적용을 위한 최적비행 설계 및 월드모델 제작을 위한 Pre-Processing 기술을 소개하고자 한다. 또한 Post-Processing 단계에서 적용 가능한 분야를 제시하고자 한다.

2. 분야와 트렌드

취미활동용으로만 사용되던 드론은 현재 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 이러한 응용을 통한 새로운 시장이 형성되고

1) 『An in-depth view on the growing market for drones』, 2014, FUNG BUSINESS INTELLIGENCE CENTRE,

있다. 표1에서와 같이 운송, 실시간 지원, 탐사, 정보 수집 등의 작업을 통해 직접적인 서비스를 제공할 수 있으며, 또한 수집된 정보 기반의 데이터 가공을 통하여 여러 분야에 적용될 수 있다. (Photography, Agriculture, Mapping 등)

표 1. UAVs 활용 분야

활용분야	활용 방법
운반/배송	원격제어를 통한 의료 지원 및 음식 배송
응급 서비스	화재, 산간 설원 지역 탐사 및 구조에 활용
토공/건축	항공촬영을 통한 맵 제작, 건설 현장 진도 체크
사진/영상	다양한 각도에서 촬영 및 제작
에너지	파이프라인, 석유굴착장치 모니터링
뉴스	재해, 전쟁 지역 정보 탐사 및 제공
과학 연구	생태 보고 및 무리동물 추적
범죄 예방	범죄 상황 실시간 보고(인질극, 마약밀매)
농업	농작물 상태를 실시간 체크, 데이터 수집
오락	취미 활동

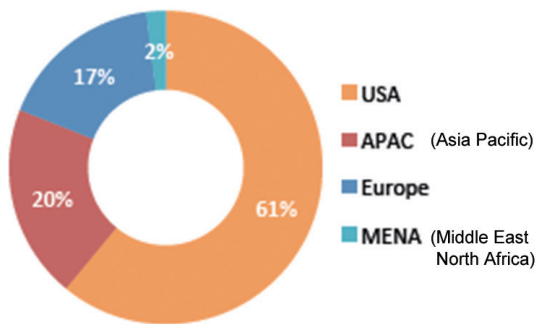


그림 1. 상업용/컨슈머 UAV 시장 분포 (출처 : INEA Consulting)

UAV 전체 시장의 규모는 2014년 기준 64억\$이며 이중 군사 목적으로 활용되는 경우가 89%(57억\$)를 차지하고 있다. (Teal group) 또한 향후 10년간 UAV 시장은 115억\$로 성장할 것으로 예측하고 있으며, UAV 활용 및 개발에 있어 상업용/컨슈머 시장의 분포는 미국, 아시아 지역, 유럽, 중/북동 아프리카 순으로 나타났다. (그림 1 참조)

3. 건축/토목에서 보는 UAV의 응용

토목 공사 현장에서의 UAV 운용에 앞서 건축/토목 현장에서 UAV의 운용상에 존재하는 제반사항에 대하여 알아볼 필요가 있다.

기존 건축/토목 분야에서는 실제 현장정보 획득을 위해서는

토탈 스테이션(Total Station)과 레이저 스캐너를 이용하는 방법을 사용해 왔다. 하지만 이는 산악지역, 위험지역 등 환경적 요소에 민감하고, 또한 해당 장비들은 장애물로 인한 사각의 발생으로 인해 활용에 있어 많은 제약이 발생하고 있다. 이러한 요인들로 인하여 건축/토목 현장에서 UAV는 항공촬영 기술과 결합한 형태로 실시간 현장 이미지의 고속 획득 및 정확한 데이터 수집에 활용되고 있다.

반면 UAV의 비행특성은 동체 자체에 무게제약을 주었으며 이는 가동시간에 대한 제한으로 이어졌다. 농업에서 이용하는 UAV의 경우 애초에 방제용으로 개발되어 적재무게와 가동시간에 초점을 맞추어 개발된 장비이다. 하지만 건축토목 분야에서 활용하는 UAV는 정보획득을 목적으로 운용하기 때문에 가동시간보다는 장비의 정확한 데이터 수집에 집중하고 있다.

4. 본론

4.1 하드웨어와 소프트웨어 분석

급속도로 UAV 기술이 발전함에 따라 상업용 UAV 시장이 확대되었고, UAV 개발사들은 이에 맞춰 다양한 서비스 및 플랫폼을 제공하고 있다. 표2와 같이 UAV회사들은 크게 하드웨어 제작, 소프트웨어 및 플랫폼 개발, 시스템 및 솔루션 제안을 통한 다양한 서비스 콘텐츠를 제공하고 있다.

표 2. UAV개발사 및 제공 서비스

개발사	서비스
DJI	상업용/취미용 드론 제작
3D Robotics	Open-source 전자부품 및 UAVs 제공
Airware	상업용 드론 플랫폼 개발 및 제작
Spire	Satellite-powered data 회사
XAircraft	Multi rotor UAV 제작 및 설계
Skycatch	확장형 공중 로봇 플랫폼
Kespry	상업용 드론 시스템 제작
Precision Hawk	UAV 기반 데이터 수집 및 분석
Drone Deploy	스마트 드론 유지관리 플랫폼
Ehang	UAVs
Cyphy	UAV 기반 교량 검측
Matternet	군수용 소형 항공기 네트워크 제공
CYBERHAWK Innovations	항공 검측 및 탐사
SkyWard IO	항공 로봇 에코시스템 - 소프트웨어 플랫폼 제공
OpenROV	수중탐사용 ROV(remotely operated vehicle) 커뮤니티
DroneCast	공중 광고 플랫폼 제공

본고에서는 토목현장에 적용가능한 UAV를 소개하기에 앞서 다양한 하드웨어와 소프트웨어를 분석하였다. 하드웨어는 현재 사용중인 저가형/상업용 컨슈머 드론을 대상으로 실시하였으며, 소프트웨어는 Post- Processing에 활용할 수 있는 기능을 제공하는 범용 소프트웨어를 대상으로 하였다.

여기서 주로 고려한 파라미터(parameter)는 비행범위, 최대 적재, 운용시간, 최대속도, Flight Planning 기능 여부, 자동 착륙 기능, GPS활용 가능여부, 야외운용 가능성, Wind Resistance 등이다. 이들이 중요한 이유는 야외 촬영을 기준으로 하였을 때 해당 장비에 영향을 주는 외부 요인과 관련된 요소들이거나 획득한 데이터에 영향을 줄 수 있는 요인들이기 때문이다.

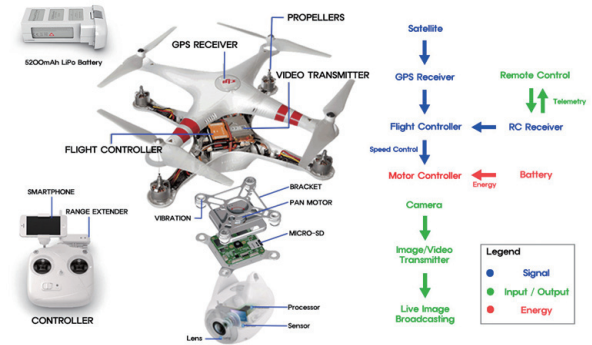


그림 2. UAV 분석 개요도

이 중 Wind Resistance은 개발사마다 개발하는 기반 기술의 차이점이 발생한다. 바람으로 인해 자리가 이동한 만큼 자가

표 3. 개발 UAV 및 개체 Specifications

UAV	비행범위 (m)	최대적재 (g)	운용시간 (분)	최대속도 (mile/hour)	Flight Planning	자동착륙	GPS
Phantom3 (DJI)	2000m	300g	25분	33.5	✓	✓	✓
Phantom2 (DJI)	1000m	200g	25분	33.5	-	✓	✓
AR.Drone (Parrot)	165m	-	12분	15	-	추가적용가능	추가적용가능
QR (Walkera)	3280m	200g	25분	45	추가적용가능	✓	✓
IRIS+ (3DR)	3280m	200g	16분	40	✓	✓	✓
350 QX2 (Blade)	-	250g	10분	-	-	✓	✓
Scout (Walkera)	3280m	400g	25분	-	✓	✓	✓
Nova (Quamum)	3280m	-	15분	25	✓	-	✓
Drone4 (Storm)	984m	250g	8분	-	추가적용가능	-	-
RTF (QAV400)	3280m	-	9분	-	-	-	추가적용가능

복구하는 시스템을 사용하거나 GPS를 이용한 호버링을 이용하여 바람에 저항하는 기술을 개발한 것이 그 예시이다. 따라서 10종류의 드론을 선정하고 해당장비의 특성 중 Wind Resistance를 제외한 나머지 파라미터들에 대하여 다음 표 3에 정리하였다.

UAV를 통해 획득한 이미지들은 현재 상용중인 소프트웨어들을 통해 특징점이 도출되고 포인트화를 통해 하나의 데이터로 통합된다. 해당 소프트웨어들은 Feature Determination, Integration of Images, Image Coordinates Refinement, 3D Model Creation 등의 프로세스를 통해 작동한다.

상용소프트웨어들을 분석한 결과는 다음 표 4와 같다.

4.2 Flight Planning

건설/토목 현장을 기반으로한 월드맵 제작에 있어서 UAV를 활용할 때 가장 중요한 것은 얼마나 효율적으로 고해상도의 지도를 획득할 수 있느냐는 것이다. Flight Planning은 이런 요구사항을 만족시키기 위한 필수 요소라고 할 수 있다.

UAV의 하드웨어 조건에 따라 UAV가 이동하는 경로를 사전에 설정하고 이를 기반으로 UAV를 운용하는 것을 기본으로 하게 된다.

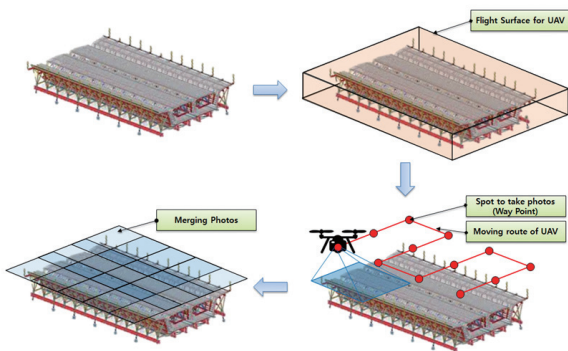


그림 3. Flight Planning 구성안

표 4. 이미지 병합용 소프트웨어

Software (3D point clouds)	금액 지불	Total Points	Points Per m ²	특징 및 용도
Microsoft Photosynth	무료	128535	~7	- 특징점들을 선별 - 각각의 매칭된 3차원 좌표값들이 계산 - 각각의 이미지 orientation parameters 결정 - 외부방위에 관한 설정과 매개변수 보정 - point clouds data 정보 출력 가능
ARC3D	무료	20million	~3000	- 3D point clouds data 정보 생성 - 메시화 된모델 표면생성
AgiSoftPhotoScan	유료	1,3million	~110	- Standard형 179\$USD, - Professional형 3499\$USD - 3D point clouds data 생성
CMVS / PMVS	무료	1,4million	~90	- 많은 이미지를 신속히 처리 가능 - 3D point clouds data, 밀집도 정보 추출 - CMVS는 PMVS를 실행하기 전에 Clustering process를 수행

4.3 Pre-Process

UAV를 통한 항공촬영으로 얻은 데이터는 이미지 형태로 이를 병합하기 위해서는 이미지 상의 특징점을 선정하고 이를 기반으로 이미지 병합을 실행하게 된다. 이러한 병합과정은 레이저 스캐너를 통해 획득한 3D Point Cloud의 병합과 유사한 방식으로 레이저 스캐너를 통해 획득한 3D Point Cloud의 병합 방식은 다음과 같다.

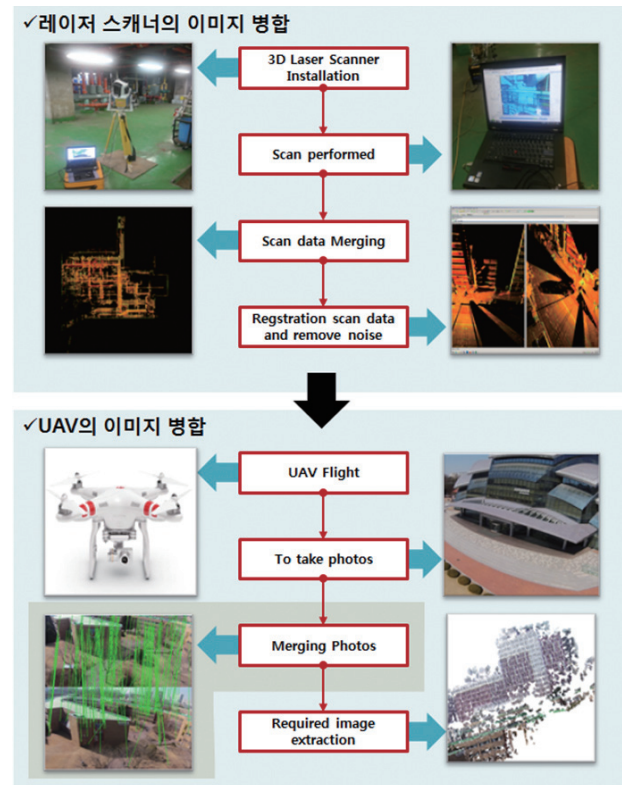


그림 4. 레이저 스캐너와 UAV의 이미지 병합 방식

데이터의 병합은 스캔 자료들이 동일 좌표계를 형성할 수 있도록 좌표 변환을 실시하는 과정으로 공간상에서의 이동 및 회

전 요소에 의해 결정된다. 이때 필요한 매칭 포인트는 공간의 구성 조건에 따라 1회의 레지스트레이션 과정, 즉 2개의 Subproject를 연결하는 과정에서 3개의 포인트를 요구로 한다. 항공 촬영 데이터를 수집할 경우 수집 데이터의 병합 효율은 중복 면적이 높을수록 좋은 결과를 보이게 된다. 하지만 중복 면적이 높을수록 촬영 시간이 길어지기 때문에 이를 고려하여 최고의 효율을 나타낼 수 있는 극값을 파악하여 해당 값을 결정하는 연구를 진행하고 있다.



그림 5. 중첩 정도에 따른 파라미터 값 비교

확대한 이미지 데이터는 앞서 소개한 소프트웨어를 통해 포인트 클라우드 형태로 하나로 합쳐지며, 이 데이터는 다음 단계인 이미지 기반 Post-Process로 넘어가게 된다. 다음 사진은 소프트웨어를 통해 이미지를 Point Cloud 형태로 재생성한 사진이다.



그림 6. 현장사진(좌측) & Point Cloud(우측)

4.4 이미지 기반 Post-Process

UAV를 통해 획득한 이미지는 Point Cloud 형태로 변환된다. 이렇게 제작된 데이터는 DSM제작, DSM을 바탕으로한 물

량산출, 공사 스케줄 관리에 사용된다.

수치 표면 모형(DSM: Digital Surface Model)의 활용 분야로는 활용 분야로는 지도 제작 시 건물 외곽선 추출, 등고선 자동 제작 등을 들 수 있고, 시설물 건설 및 유지 관리 분야에서는 대형 구조물 설계 및 유지 관리를 위한 자료 구축과 환경 영양 평가, 경관 분석, 토지 보상 등에 이용된다. 설계 및 엔지니어링 분야에서는 토공량 산정 및 도로 설계, 전력선 경과지 선정 및 측량에 활용할 수 있다.²⁾

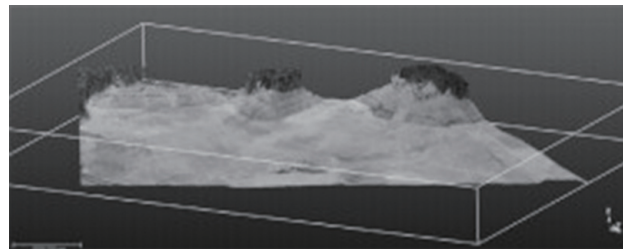


그림 7. Point Cloud 형태의 DSM 생성³⁾

특히 토공분야에서는 물량산출을 위해 UAV로 획득한 데이터를 이용하여 대상지역에 대한 Point Cloud 형태의 DSM을 생성하고, 해당 데이터와 계획고를 이용하여 토공량을 산출하는 연구 또한 진행되고 있다.³⁾

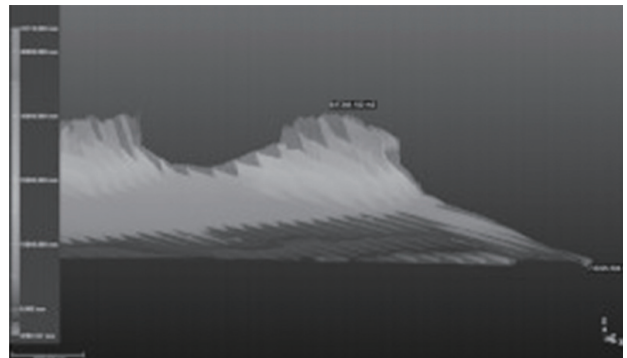


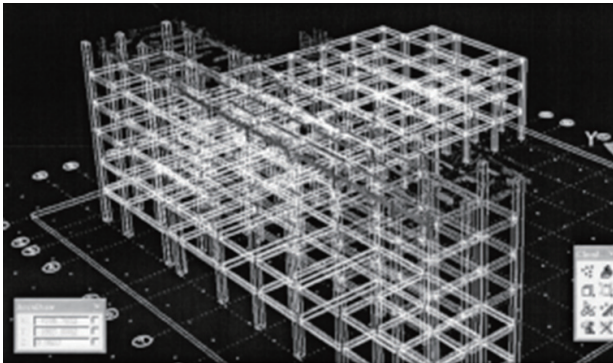
그림 8. 토공량 산출³⁾

또한 UAV 획득 데이터를 활용하여 기존 계획된(As-Planned) 모델과 현재 지어진(As-Built) 모델간의 비교를 통하여 현재 지어진 정도를 측정하여 진도를 체크하는 연구가 진행되고 있다.⁴⁾

2) 지도 읽기와 이해, 2008. 12. 3. 푸른길

3) 최익호. 물량공기정보 구축을 위한 무인항공기 활용성 평가. 한국지적정보학회지 16(2), 149-156. 2014

4) Naai-Jung Shih, Point-Cloud-Based Comparison between Construction Schedule and As-Built Progress: Long-Range Three-Dimensional Laser Scanner's Approach, *J. Archit. Eng.*, 10(3), 98–102.

그림 9. As-Planned Model vs As-Built Model⁴⁾

5. 맺음말

본 연구는 모든 건설장비의 작업상황을 실시간으로 파악하고, 다수의 장비간 통신 및 제어를 수행함으로써 건설장비의 불필요한 움직임을 최소화하고, 연료사용을 효율적으로 관리하도록 지원하는 건설장비 관제시스템 개발을 위해 UAV를 이용한 월드맵 개발에 관한 연구를 수행한 내용이다.

특히, UAV 항공 데이터 병합과정의 정확성과 신속성에 중점을 두고 연구하여 Merging 프로세스를 개발하고 있으며, 이는 건설현장에서 발생하는 의사결정 리드타임을 최소화하기 위함이다.

향후 보다 정확한 비행을 가능하게 하는 UAV의 파라미터 성능 향상을 위한 하드웨어 개선 부분과 사진측량 및 컴퓨터 비전 기술 기반의 획득 데이터 가공 기술의 정확도 향상을 위한 소프트웨어 개선 및 개발 등에 관한 연구가 진행되어야 한다. 이를 통하여 향후 건설 공사 현황측량 및 물량산출, 공사 진도 측정, 지도 제작 등에 UAV를 활용함으로써 측량업무의 효율성 및 경제성 향상이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원 (14SCIP-B079344-01)에 의해 수행되었습니다.