

농업활용 드론 기술동향 및 과제

군사용 목적으로 개발된 드론이 급격한 발전을 통해 항공촬영, 배송, 정찰/감시 등의 민간 분야로 확대되면서, 최근에는 드론을 활용한 다양한 응용분야가 주목받고 있다. 농업분야의 드론 활용은 방제작업뿐만 아니라 파종, 작황 모니터링, 샘플채취 및 운반 등 스마트/정밀 농업 실현에 있어 큰 비중을 차지하고 있으며 그 활용이 기대되고 있다. 본 기술 특집호에서는 드론의 농업분야 국내·외 기술개발 동향에 대해 소개하고, 스마트/정밀 농업을 위한 드론의 기술이슈와 해결과제를 언급한다.

■ 김성환, 이건희, 유기호*
(전북대학교 항공우주공학과)

I. 서론

드론은 수벌이 날아다니며 ‘윙윙’ 거리는 소리를 착안하여 명명된 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV)의 이름 중 하나이다. 유인 항공기와 달리 무인항공기는 조종사가 탑승하지 않고 자동 또는 원격으로 조종되는 비행체로 정의된다[1-3]. 최근 드론 기술은 세계에서 큰 이슈로 주목받고 있으며, 2014년 MIT 기술 보고에서도 획기적인 기술 10선 중 하나로 선정되었다[4,5]. 초기 미국에서 군사 목적으로 개발된 드론은 기술 발달에 따른 가격 하락과 오픈소스를 통해 민간 및 산업 시장으로 빠르게 확장되고 있으며[6,7], 세계적으로 드론 시장은 고부가가치 산업으로 2014년 64억 달러에서 2023년 114억 달러 규모로 성장할 것으로 미국 방위산업 컨설팅 업체인 Teal Group은 예측하고 있다[8]. 이러한 추세에 따라 전 세계의 기업, 연구소 등에서 드론 관련 연구개발이 활발하게 수행되고 있다. 드론은 크게 형태별, 목적별, 고도별 등으로 나눌 수 있으며, 드론 연구개발은 새로운 개념의 비행체 연구개발과 임무를 수행하기 위한 탑재 장비 개발 두 가지로 나눌 수 있다. 탑재 장비 개발은 광학 카메라 혹은 적외선 카메라를 통한 모니터링 연구나 다양한 목적으로 활용될 수 있는 장비 개발이며, 최근에는 여러 가지 임무를 수행할 수 있는 다목적 형태의 연구개발을 수행하고 있다[9]. 농업 분야의 드론 연구개발은 오래 전부터 시작되었으며, 일

부 드론은 상용화되어 농업분야에 활용되고 있다. 이미 Yamaha Motor사의 농업용 무인 헬기는 1991년부터 시작하여 2500대 이상이 판매되고, 방제 목적으로 일본의 전체 쌀 농경지의 35%에 활용되고 있다[10,11]. 국내의 경우 성우 엔지니어링에서 무인 헬기를 이용한 파종 및 방제분야에 참여하고 있으며, 세계 민간 드론시장의 절반 이상을 차지하는 DJI와 3D Robotics도 농업분야 드론 시장에 참여하고 있다[12-14]. 이처럼 농업분야에 드론을 활용함으로써 미래 농업에 많은 변화를 예상할 수 있는데, 현대 사회의 농업은 정밀 농업에서 IT의 급격한 발전에 따른 스마트 농업으로 확대되고 있다. 드론을 이용한 농업은 농장의 관리를 위해 측정된 데이터를 활용하여 농작물의 생산력을 극대화할 수 있으며, 원격 농장 관리를 통해 농가당 영농 가능 면적의 증가 및 인력과 비용을 최소화할 수 있다[15]. 또한 농업용 지상 장치보다 몇 가지 장점을 가지고 있는데, 드론의 경우 공중에서 작물과 동물에게 피해 없이 접근하여 자유롭게 임무를 수행할 수 있으며, 접근을 위해 토양의 특성을 고려할 필요가 없다. 국내의 경우 농촌 지역 인구 고령화와 소규모의 다품종 농업 여건, 주거지역과 농경지 사이가 밀접하기 때문에 국외와 같은 넓은 농경지에서 운용되는 광역장비보다 소형의 농업용 드론의 확대가 국내 농업에 효율적일 것으로 보고 있다[16].

대부분의 농업분야의 연구개발은 탑재 장비에 관한 연구개발로 진행되고 있으며, 모니터링이나 방제 및 파종 분야가 집중

되고 있다. 차후 드론 판매의 약 80%를 농업 관련 분야가 차지할 것이라는 전망도 나오고 있다[17-19]. 하지만 드론이 농업을 포함한 필드에서 실제적으로 활용이 되기 위해서는 기술적, 사회적으로 해결해야 할 과제들이 남아있다. 기술적으로는 드론은 조종자에 의해 간접적 또는 자동적으로 제어됨에 따라 안정성의 확보, 초심자를 포함한 사용자가 쉽게 조작 및 운용할 수 있는 사용자 인터페이스 등의 연구가 필요하다. 사회적으로는 드론의 일반사용이 증가하면서 안전과 테러 위협 등에 대한 우려가 증가하고 있으며, 세계 각국에서 각종 규제와 안전대책을 마련하고 있다. 더불어서 드론의 활성화를 위해 효과적인 규제와 지원정책이 지속적으로 논의되고 정립되어야 한다[20].

본 논문에서는 드론을 이용한 농업분야에 대하여 다양한 국내·외 연구 개발 사례를 소개하고, 기술이슈 및 해결과제를 언급한다. II장에서는 농작업 중 파종/방제분야와 작황모니터링분야의 국내·외 드론 개발 및 활용 사례를 소개하고 III장에서는 기술이슈 및 실용화를 위해 해결해야 할 과제에 대해 언급한다.

II. 국내외 기술개발 동향

드론을 이용한 농업 분야 연구개발은 탑재되는 장비개발이 대다수이며, 방제 및 파종과 모니터링 분야의 연구개발이 대부분을 차지하고 있다. 본 장에서는 방제 및 파종 분야와 모니터링 분야의 국내·외 드론 개발과 관련된 사례를 소개한다.

2-1. 방제 및 파종

과거의 관행 방제 작업의 경우 작업자의 노동 강도가 크고 소규모 정밀 방제가 어려우며, 직접 농경지에 진입하기 때문에 작물의 훼손이나, 작업자의 농약 노출로 인한 피해가 존재할 수 있다[16]. 하지만 드론을 이용하게 되면, 공중에서 임무를 수행하므로 농작물에 접근이 쉬우며 작물의 훼손이 거의 없다. 또한 일반적인 방제의 경우 농약 살포 시 작물의 아래쪽까지 침투가 어려운데 프로펠러 형태의 무인기는 저공비행을 통해 날개로부터 발생하는 하향풍이 작물을 눕힘으로써, 약제가 지면까지 골고루 침투하게 된다. 인력 방제나 광역 방제의 경우 1ha당 농약 살포량은 약 1000L 이상이 되지만 드론 방제의 경우 8-10L의 적은 양으로 해당부분에 집중적인 농약 살포가 가능하기 때문에 효과적으로 방제할 수 있다. 드론을 통한 방제는 작업자의 농약 노출을 최소화하고, 노동 부담을 경감시킬 수 있다. 현재 기업, 연구소 등에서 방제 및 파종 드론을 연구개발하고 있다.



그림 1. Yamaha Motor의 R-Max(10).



그림 2. 성우 엔지니어링의 Remo-H(12).



그림 3. DJI의 MG-1(13).

Costa 등[21]은 농작물에 설치된 여러 대의 센서를 통해 드론의 농약 살포량 제어와 바람의 영향에 따른 살포 경로를 조절하는 알고리즘을 연구하였다. 항공대에서는 국내 농경지 실정에 적합한 방제용 무인 비행선과 멀티콥터를 개발하여 살포 실험을 수행하였다[22,23]. 경기도 농업 기술원은 과수원 방제를 위한 드론을 개발하고 있다[24].

일본은 과거 1958년 유인 헬기 방제를 시작하였지만 거주지역과 근접하고 고령화로 인한 인력 부족으로 인해 1990년 방제 목적으로 무인 헬기를 개발하여 현재 R-max와 Frazer를 판매하고 있다. 그 중 R-max(그림 1)는 수평대향형 액체 냉각 2-stokes의 246cc 엔진을 사용하며 정격 마력은 21HP이다. 탑재 가능중량

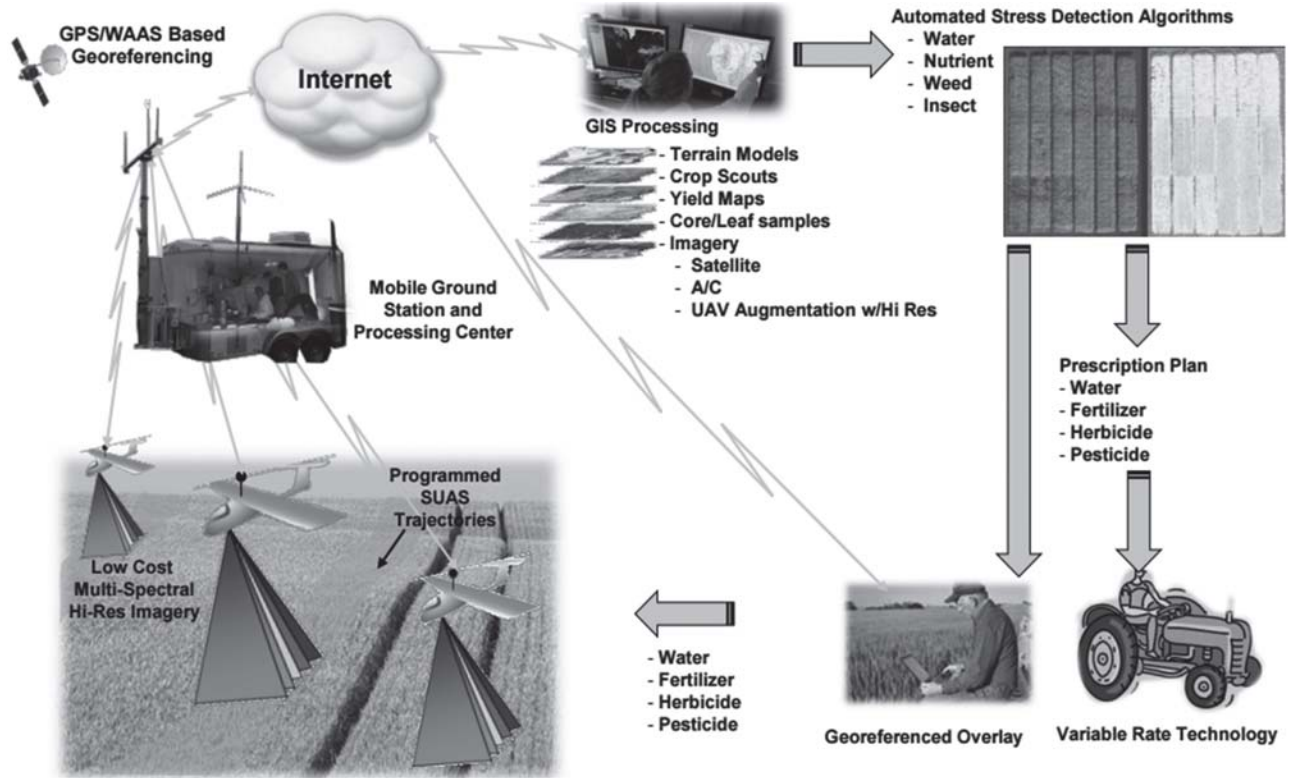


그림 4. 드론을 이용한 정밀농업(26,27).

은 30 kg 정도이며, 농약은 액체의 경우 분당 1.3~2L, 분말의 경우 분당 2.5kg을 분사한다[11,25]. 야마하 자세제어 시스템(YACS)을 개발하여 지상 거리 측정 센서 없이 자세 및 고도 유지가 가능하다. 현재 Yamaha Motor사의 농업용 무인 헬기가 농업분야 드론 시장의 80%를 차지하고 있으며, 방제 목적으로 개발된 무인 헬기는 훗카이도, 미야케지마 섬의 화산 활동 감시 목적에도 활용되고 있다[25].

무인 헬기 원천 기술을 확보하고자 국내 최초 방제용 무인헬기를 개발한 성우 엔지니어링은 2004년 20cc급 소형헬기 자동 비행 제어 기술 개발부터 시작하여 Remo-H(그림 2)를 국내 농업시장에 약 52대 이상 공급하고 있다. Remo-H는 4-stokes의 294cc엔진을 사용하며 정격 마력은 35HP이다. 탑재 가능 중량은 30kg이며, 1일 30ha에 파종 가능하며 10분 당 1ha 살포가 가능하다[13].

세계 민간 드론시장의 60%를 차지하는 DJI는 최근 방제용 멀티콥터 MG-1(그림3)을 출시하였다. Pantom과 Inspire등의 개발 기술과 방제기술을 접목하였다. 전기배터리를 이용하며, 최대 10kg의 액체 살충제나 비료를 넣고 10분 당 0.6ha를 살포한다. MG-1은 비행 속도에 따른 분사속도를 자동적으로 제어하여 약제의 과도한 사용을 줄일 수 있다. 일반적인 멀티콥터의 시스템

은 고도계와 GPS만으로 제어되지만 MG-1은 마이크로웨이브 레이더(microwave radar)를 통해 비행하는 동안 기체 아래의 지형을 실시간으로 스캔하고, 농·식물로부터의 거리를 측정하여 분사 농도를 제어할 수 있다[14].

2-2. 작황 모니터링

모니터링은 이미지를 통해 얻어진 토양과 작물 데이터를 사용하여, 실시간 감시뿐만 아니라 분석을 통해 농작물의 해충과 질병을 감지하고, 품질과 수확률 등을 예측함으로써 농작물의 생산성을 극대화할 수 있다. 그림 4는 Boeing에서 제시한 드론의 모니터링을 이용한 정밀농업의 과정을 보여준다[26,27]. 농작물을 분석하는 방법 중 가장 일반적인 방법은 그림 5와 같이 정규화식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 통한 분석 방법이다. 이 방법은 지상의 대상물이 각 파장대별로 독특한 특성을 나타내는데 식물의 가시광선과 근적외선대의 두 영상에서 나타나는 식생의 반사율의 차이를 통해 식생의 상태를 알 수 있다[28-30].

작물 모니터링은 초기에 인공위성이나 유인 항공기를 통해 측정된 이미지로 수행하였지만, 낮은 해상도로 인해 신뢰성 높은 이미지를 얻기 어려운데다 촬영시간과 비용 면에서 효율적



그림 5. 항공촬영을 통한 NDVI 이미지(30).

이지 못하였다. 또한 구름이 덮여있을 경우와 같은 날씨 조건에 대한 제약 등의 문제가 많았다[29]. 드론의 기술 발전이 확대되면서 드론을 이용한 작황 모니터링의 연구가 수행되었는데 드론의 경우 작물에 근접하여 촬영하기 때문에 신뢰성 높은 이미지를 얻을 수 있으며, 날씨 조건의 영향이 적다. 또한 인공위성이나 유인항공기보다 쉽게 사용할 수 있으며, 비용도 저렴하기 때문에 드론을 이용한 작황 모니터링 관련 연구개발이 빠르게 확대되고 있다. Berni 등[31]은 농업 모니터링을 위한 드론의 가능성을 제시하고, 드론에 탑재된 열화상 및 Multispectral Camera를 통해 정규화식생지수를 추출하였으며, Stefanakis 등[32]은 작물의 성장률과 수확률 등을 분석하기 위한 고정익 항공기를 개발하였다.

Hunt 등[33]은 옥수수, 콩 등의 작물의 영양 상태를 추정하기 위해 사용된 고해상도 카메라가 장착된 드론을 검증하였다. Tabanlıoğlu[34]은 DJI사 멀티콥터를 이용하여 터키의 아나톨리아 지역에서 농작물의 생산성 분석을 수행하였으며, Tuner 등[35]은 정밀 포도 재배를 위해 드론에 Multi-spectral Camera를 장착하여 데이터를 수집하고 식생지수를 분석하였다.

국내에서는 Kang 등[36]이 드론에 ADC Lite Camera를 이용해 매주콩과 검은콩을 생육 시기별로 촬영하고, 영상에서 추출한 식생지수를 통해 콩의 질소량을 추정하였다. Hong 등[37]은 드론을 이용하여 항공사진 측량을 통해 최신 농경지도의 확보 및 고품질 농업통계 정보를 확보하기 위한 방법을 연구하였다. Park 등[38]은 드론 촬영을 통해 경북 영천의 농업용 저수지 관리를 위한 원격 시스템 개발 및 실험을 수행하였다.

업계에서도 다양한 농업용 모니터링 관련 드론과 분석에 적합한 소프트웨어를 자체개발하고 있다.

AGCO의 Solo(그림 6)는 3D Robotics Solo의 플랫폼 기반으로



그림 6. AGCO의 Solo(39).



그림 7. Honey Comb의 AgDrone(40).

제작되었으며, 농부들이 직접 이동하지 않고 농작물을 감시하기 위해 개발되었다. 약 60 acres 이상의 면적을 관리할 수 있으며, 모니터링을 위한 다양한 장비도 탑재가 가능하다. Agribotix사의 이미지 처리 소프트웨어를 통해 식생지수와 작물의 수확률 등을 파악할 수 있다. 또한 3D Robotics의 다양한 드론 제어 기술과 안전 기능을 탑재하고 있기 때문에 사용이 용이하다는 장점이 있다[14,39].

2012년에 설립한 HoneyComb의 AgDrone(그림 7)은 복합재료로 제작된 고정익 무인기 형태의 플랫폼이다. 기본적으로 RGB와 NIR을 통합한 카메라를 지원하고 다양한 농작물을 촬영하여 소프트웨어를 통해 분석할 수 있다. HoneyComb사는 농업분야 드론 기반의 데이터 획득을 위한 도구들과 획득된 데이터 처리를 위한 소프트웨어를 지원하고 있다[40,41].

PrecisionHawk는 초기 개발부터 시작하여 현재 모니터링 관련 무인기의 자체 기술을 보유하고 있다. Lancaster(그림 8)는 고정익 무인기로 열화상, Multispectral Camera뿐만 아니라 LIDAR와 Hyperspectral Camera까지 장착이 가능하다. 또한 Lancaster의 시

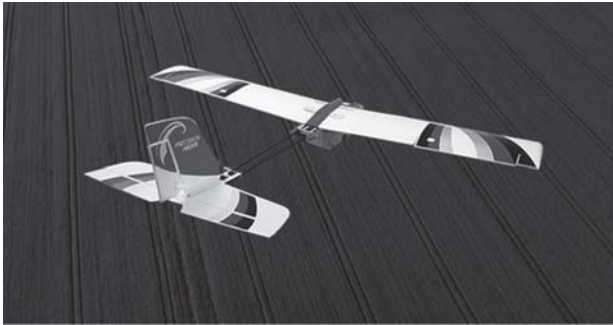


그림 8. PrecisionHawk의 Lancaster(42).

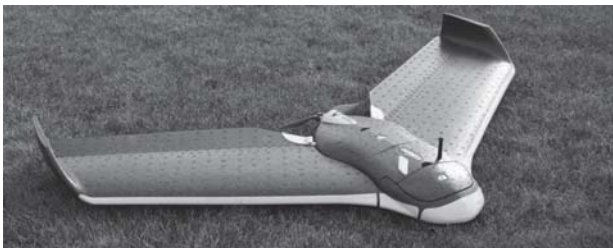


그림 9. SenseFly의 ebee Ag Drone(44).

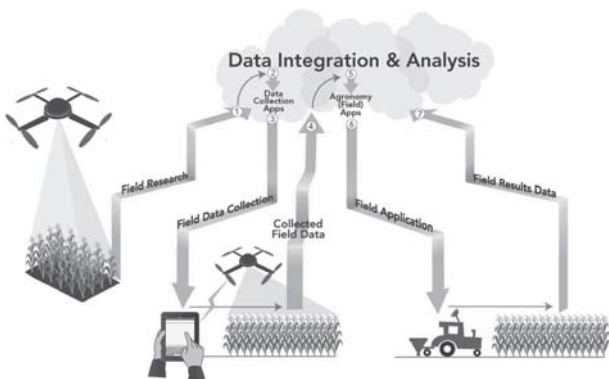


그림 10. 드론을 이용한 농업분야 데이터 활용(45,46).

스팀은 데이터 수집을 위해 날씨 조건과 측정 지역의 형태를 고려하여 최적의 비행경로를 결정할 수 있다[42,43].

SenseFly의 ebee Ag Drone(그림 9)은 농업 분야 드론에서 가장 인기있는 제품으로 열화상 카메라를 기본적으로 탑재하고 있으며 추가적으로 3D 열화상 맵핑을 할 수 있다. eMotion 소프트웨어를 통해 바람의 강도와 드론의 비행경로에 대한 시뮬레이션을 할 수 있으며, 사용자가 쉽게 경로를 계획할 수 있다[43,44].

또한 최근의 큰 이슈인 빅 데이터 활용에 대해 국제식품농산 관리협회(International Facility Management Association, IFMA)는 그림 10과 같이 드론을 이용한 빅데이터 7가지 활용을 제시하였다[45,46]. 드론을 이용하여 토양의 상태와 경작 상황을 연구하고 데이터를 수집하기 위한 어플리케이션을 개발하며 토양과 경작 상황 데이터를 드론을 통해 수집한다. 이렇게 수집된

데이터를 데이터의 특성과 목적에 맞게 분석하고 관련 어플리케이션을 개발해 실제 농업 현장에 전달하여 경작에 활용한다. 이러한 일련의 과정을 통해 실제 농업 경작 활동의 생산성 향상에 대한 데이터를 수집하고 관리한다[45]. 이러한 활용은 정밀 농업시대를 빠르게 확장시킬 것으로 보고 있다.

III. 기술이슈 및 해결과제

농업 분야의 드론활용이 확대됨과 동시에 다양한 농업임무에 활용될 것으로 예상되고 있지만 농업현장에서 실용화되기 위해서는 해결해야 할 기술적인 과제가 적지 않다. 농작업 환경은 수목, 전선 등의 다양한 장애물이 존재하며 농경지의 불규칙한 경사 등 대표적인 비정지 환경이다. 여기에 더해 돌풍, 우천, 낙뢰 등의 예측하기 어려운 외란도 존재한다. 이와 같은 비정지 환경에서 외란에 대응하면서 안정적으로 임무를 수행하기 위해서는 신뢰성 있는 장애물 인식 및 회피기술, 강건한 제어 및 효율적인 운용기술 등이 필요하다. 또한 멀티콥터를 포함하여 무인기의 체공시간의 한계는 농업 임무활용에 제약이 되고 있어 체공시간 연장 및 장기체공을 위한 기술개발도 필수 불가결하다. 한편, 농작업 임무 중에는 사용자 가시권 내의 근거리 작업뿐만 아니라 원격 모니터링 및 농작업이 불가피한데 이를 위한 안정적이고 신뢰성 있는 통신기술의 개발도 이루어져야 한다. 본 장에서는 드론의 기술 이슈 및 농업분야에 실제로 활용함에 있어 해결해야 할 기술과제를 언급한다.

3-1. 제어 및 운용

드론의 활용도가 증가함에 따라 다양한 탑재 장비들이 드론과 결합되는데, 그에 따른 안정화가 중요하다. 농업분야에서도 농약살포나 파종을 위한 장치들이 장착되거나 물체를 이동시키기 위한 제어 연구가 필요한데 Pounds 등[47]은 무인 헬기와 쿼드콥터의 탑재 중량에 대한 제어기의 안정성을 연구하였다. 또한 농업 종사자가 드론을 조작하기 위해서는 쉽게 접근이 가능하며 사용이 용이한 사용자 인터페이스의 설계가 중요하다. 일반적으로 민간용 드론의 제어는 2 스틱(dual stick) 형태의 조작기를 사용하고 있는데 초심자가 쉽게 접근하기 어려우며, 숙련에 장시간의 훈련시간이 필요하다. Park 등[48]은 드론의 직관적인 조종을 위한 1 스틱(single stick) 형태의 조작기를 제안하고 조작실험을 통해 성능평가를 수행하였으며, 이를 발전시켜 촉각피드백 기능을 가지는 무구속 형태의 조작기를 연구개발하고 있다[49]. 또한 LaFleur 등[50]은 조작기 없이 사람의 뇌파를



그림 11. 물체 이동을 위한 드론의 협업[51].

통해 조종할 수 있도록 BCI(Brain Computer Interface)를 통한 드론 제어를 시도하고 있다.

최근 단일 드론제어를 확장한 형태로 다중 또는 협업 시스템에 대한 연구개발이 진행되고 있는데, Melliger 등[51]은 그림 11과 같이 소형 쿼드콥터를 이용하여 협업으로 물체를 이동시키는 연구를 수행하였으며, Gioioso 등[52]은 제스처를 통한 소형 쿼드콥터의 협업으로 물체를 이동시키는 연구를 수행하였다. 이러한 군집 형태의 기술들은 농약 살포나 파종, 모니터링 등에서 단일 드론의 한계로 지적되는 임무영역 및 작업시간의 한계를 극복할 수 있는 가능성이 있다. 또한 Orsag[53]와 Kim 등[54]은 드론에 매니플레이터를 결합하여 제어하는 연구를 수행하고 있으며, 직접 작물 채집 등 농업 분야에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3-2. 장기 체공

농약 살포, 농작물 감시 등 다양한 임무를 수행하기 위해서는 체공시간 연장 및 장기 체공 기술이 필요하다. 현재 배터리를 이용하는 드론은 비행시간이 짧아 활용에 제약이 있다. 장기 체공기술이 구현되면 농작물 감시, 광역방제 등 오랜 시간이 요구되는 임무 수행에 효과적이다. NASA에서도 장기 체공 목적으로 연구 개발된 태양광 무인기 Pathfinder를 이용하여 하와이에 1500ha 면적의 커피농장 모니터링을 수행하였다[55]. 무인기의 장기체공 구현을 위한 접근으로 초경량 기체 설계 및 제작, 프로펠러의 효율증대, 배터리 직접밀도 향상 등의 전통적인 연구개발과 함께 태양광을 추진 에너지로 이용하는 연구개발이나 복합 에너지원을 이용하는 하이브리드 추진 시스템의 연구개발도 진행되고 있다. Lee 등[56]은 저 중고도 임무활용을 목적으로 태양광 무인기의 장기 체공을 위한 비행경로 최적화와 함께 지상 테스트베드를 구축하여 가상비행 실험을 수행하고 에너지 모델 및 설계 파라미터의 적정성을 검증하였다[57].

Schomann[58]은 장기 체공을 위해 Hybrid-Electric Propulsion system을 탑재한 드론을 연구하였다. 또한 Fujii 등[59]은 배터리를 사용하는 드론의 연속 비행이 가능하도록 자동 배터리 교체 시스템을 제안하였다.

3-3. 통신

드론 및 무인기의 통신은 가시권 근거리 통신, 영상 등을 이용한 원격 통신, 위성을 이용한 원거리 통신 등이 있으며, 사용목적이나 통신환경에 따라 적절히 선택된다. 실제 활용에 있어서는 무선통신 주파수의 제한, 주파수 간섭으로 인한 통신두절, 원거리 무선통신의 데이터 전송 지연으로 인한 조종 성능 저하 등의 문제를 해소 또는 최소화하기 위한 기술개발 및 관련 인프라 구축이 필요하다. 이와 관련하여 Bluetooth, Wi-Fi, 셀룰러 시스템, 위성통신 등의 통신방식을 이용한 드론 통신 연구가 진행되고 있다[60]. Yoo등[61]은 드론에 적합한 LTE 통신 모듈을 개발하여 비행을 통해 실시간 데이터 통신 및 영상 송·수신 시스템 성능 평가를 하였으며, Asadpour 등[62]은 소형 드론에서 촬영된 고화질의 영상을 전송하는데 근거리 무선 통신망(local area network)을 이용하여 통신망을 구성하였다.

V. 결론

본 논문에서는 드론의 시장현황과 농업활용의 필요성을 제시하고 드론을 이용한 농업 분야의 활용으로 방제/파종작업과 작황 모니터링의 기술개발 및 관련 업계 동향을 소개하였다. 또한 정밀/스마트 농업 실현을 위한 드론관련 기술 이슈와 실용화를 위한 해결 과제를 언급하였다. 언급된 해결과제들은 농업활용에 그치지 않고 드론의 제반 활용분야에 공통적으로 필요한 범용 기술로 관련 분야 연구개발의 확산과 발전을 기대한다.

사사

본 연구는 교육부의 재원으로 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- [1] 이건영, “드론, 우리 곁으로 점점 다가온다,” *전기의 세계*, vol. 65, no. 1, pp.17-24, 2016.
- [2] A. Cavoukian, *Privacy and drones: Unmanned aerial vehicles*,

- Ontario, Canada: Information and Privacy Commissioner of Ontario, Canada, pp.1-12, 2012.
- [3] D. Floreano, and R. J. Wood, "Science, technology and the future of small autonomous drones," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 460-466, 2015.
- [4] B. A. Vroegindewij, S. W. Van-Wijk, E. Van-Henten, "Autonomous unmanned aerial vehicles for agricultural applications," *Proc. of the International Conference of Agricultural Engineering*, 2014.
- [5] C. Anderson, Agricultural Drones Retrieved 8-5-2014, <http://www.technologyreview.com/featuredstory/526491/agricultural-drones/>.
- [6] P. K. Freeman, R. S. Freeland, "Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hope," *Remote Sensing Applications : Society and Environment*, pp. 35-43, December. 2015.
- [7] 오세일, "민간용 드론활용 연구," *한국방송공학회 하계 학술대회*, pp. 315-318, 2015.
- [8] S. J. Zaloga, D. Rockwell, P. Finnegan, *2014 World Unmanned Aerial Vehicle Systems-Market Profile and Forecast*, 2014 Edition, Teal Group Corporation.
- [9] 이대우, "[고부가가치 파급효과 기대되는 드론] 부산 드론 산업 발전을 위해 '드론개발시험원' 설립 필요," 부산발전포럼, no. 153, pp. 50-57, 2015.
- [10] Yamaha Motor, R-max Specifications, <http://rmax.yamaha-motor.com.au/specifications>.
- [11] Yamaha Motor, Remotely Piloted Helicopters, <https://www.yamahamotorsports.com/motorsports/pages/precision-agriculture>.
- [12] SungWoo Engeering, Remo-H, <http://www.swerc.com/content/29>.
- [13] DJI, AGRAS MG-1, <http://www.dji.com/kr/product/mg-1>.
- [14] 3D Robotics, Solo, <https://3dr.com/solo-drone/specs/>.
- [15] 농업경제연구소, "드론(Drone) 시장 확대가 농업에 주는 영향과 정책 과제," NHERI 주간 브리프, pp. 7-10, July. 2014.
- [16] 정구현, 이진홍, 전명희, 박인태, "무인항공기, 쌀 농업을 띄운다. -무인항공기의 농업적 이용현황 및 경제성-, 경기도 농업기술원, 작물연구과, 2015.
- [17] 박진기, A. Das, 박종화, "농업분야 무인항공기 영상 활용 동향: 리뷰 및 제안," *농업과학연구*, vol. 42, no. 3, pp. 269-276, 2015.
- [18] 무인항공기, 농업혁명을 일으킨다, www.sciencetimes.co.kr/?news=무인항공기-농업혁명을-일으킨다.
- [19] 신진욱, 김대중, "전북 첨단산업의 융합허브, 드론산업," *Issue & Tech, 전북테크노파크*, vol. 39, 2015.
- [20] 안진영, "세계의 민간 무인항공기시스템(UAS) 관련 규제 현황," *항공우주산업기술동향*, vol. 13, no. 1, pp. 51-67, 2015.
- [21] F. G. Costa, J. Ueyama, T. Braun, G. Pessin, F. S. Osorio, P. A. Vargas, "The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications," *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 5045-5048, 2012.
- [22] J.-H. Kim, C.-H. Heo, S.-J. Lee, Y.-G. Song, "Development of unmanned airship for agricultural spray," *Proc. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences (in Korean)*, pp. 521-524. 2009.
- [23] 한국항공대, 방제용 멀티콥터, http://kau.ac.kr/page/kauspace/kaunews_list.jsp?search_boardId=7269.
- [24] 농업기술원, 과수원 병해충, 드론으로 잡는다, http://nongup.gg.go.kr/noti/30?c_pid=102201.
- [25] A. Sato, "The RMAX Helicopter UAV," Yamaha Motor Co., LTD., Shizuoka, Japan, Report, 2003.
- [26] I. Unal, and M. Topakci, "A review on using drones for precision farming applications," *Proc. of 12th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, pp. 276-283, 2014.
- [27] Boeing, 2013. Using UAVs to Enhance the Quality of Precision Agriculture, <http://www.nwuav.com/auvsi/Cascade201304-ppts/Dan%20Gadler/Using-UAVs-to-Enhance--Precision-Agriculture.pdf>.
- [28] Agribotix, NDVI imagery, <http://agribotix.com/blog/2014/06/10/misconceptions-about-uav-collected-ndvi-imagery-and-the-agribotix-experience-in-ground-truthing-these-images-for-agriculture/>.
- [29] Vegetation Index, <http://kimny1004.blogspot.kr/2010/01/%EC%8B%9D%EC%83%9D%EC%A7%80%EC%88%98-vegetation-index.html>.
- [30] I. Amago, Understanding your aerial data: Normalized difference vegetation index, <http://media.precisionhawk.com/topic/ndvi/>.
- [31] J. A. Bemí, P. J. Zarco-Tejada, L. Suárez, E. Fereres, "Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, no. 3, pp. 722-738, 2009.
- [32] D. Stefanakis, J. N. Hatzopoulos, N. Margaris, N. Danalatos,

- "Creation of a remote sensing unmanned aerial system (uas) for precision agriculture and related mapping applications," *Proc. of ASPRS 2013 Annual Conference*, Baltimore, Maryland, 2013.
- [33] E. R. Hunt JR, M. Cavigelli, C. S. T. Daugtry, J. Memmurey III, C. L. Walthall, "Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status," *Precision Agriculture*, vol. 6, pp. 359-378, August. 2005.
- [34] A. Tabanlıoğlu, A. C. Yücedağ, M. F. Tüysüz, M. E. Tenekeci, "Multicopter usage for analysis productivity in agriculture on GAP region," *Signal Processing and Communications Application Conference*, pp. 1102-1105, 2015.
- [35] D. Tuner, A. Lucieer, C. Watson, "Development of an Unmanned Aerial Vehicle for Hyper Resolution Vineyard mapping based on visible, multi-spectral and thermal imagery," *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 2011.
- [36] Y.-S. Kang, S.-H. Kim, J.-G. Kang, K. S. Tapash, C.-S. Ryu, Y.-G. Hong, "Estimation of nitrogen content in bean using UAV Imagery," *Proc. of the Korean Society of the Agricultural machinery (in Korean)*, Vol. 21, No. 1, pp. 121-122, 2016.
- [37] S.-C. Hong, B.-H. Lee, S.-J. Jang, Y.-H. Park, "Improve the quality of farm map using unmanned aerial photogrammetry," *Proc. of the Korean Society for Geospatial Information System (in Korean)*, pp. 159-162, 2015.
- [38] J.-K. Park, J.-H. Park, "Reservoir failure monitoring and identified by the UAV aerial images," *Journal of Crisisonomy (in Korean)*, Vol. 11, No. 4, pp. 155-167, 2015.
- [39] AGCO, introduces Solo AGCO Edition UAV, <http://westernfarmpress.com/management/agco-introduces-solo-agco-edition-uav>.
- [40] HoneyComb, AgDrone, <http://www.honeycombcorp.com/specifications/>.
- [41] HoneyComb and the AgDrone, <http://dronelife.com/2014/04/07/honeycomb-and-the-agdrone/>.
- [42] PrecisionHawk, Lancaster, <http://www.precisionhawk.com/agriculture>.
- [43] The 7 Best Agricultural Drones on the Market, <http://dronelife.com/2015/10/14/7-best-agricultural-drones-market/>.
- [44] Sensefly, ebee AgDrone, <https://www.sensefly.com/drones/ebee-ag.html>.
- [45] 한국정보화진흥원, "빅데이터 동향과 이슈," no. 3, 2014.
- [46] S. Sonka, "Big Data and the Ag Sector: More than Lots of Numbers," *International Food and Agribusiness Management Review*, vol. 17, January 2014.
- [47] P. E. Pounds, D. R. Bersak, A. M. Dollar, "Stability of small-scale UAV helicopters and quadrotors with added payload mass under PID control," *Autonomous Robots*, vol. 33, no. 1-2, pp. 129-142, 2012.
- [48] K.-S. Park, G.-Y. Jung, K.-H. Yu, "Comparative evaluation of remote controller for manual operation of quad-rotor," *Proc. of Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE. IEEE*, pp.3388-3391, 2013.
- [49] 유기호, 우연주, "무선조종 비행체용 무선조종기," Pat. no. 10-2016-0088410, Korea, 2016.
- [50] K. LaFleur, K. Cassady, A. Doud, K. Shades, E. Rogin, B. He, "Quadcopter control in three-dimensional space using a non-invasive motor imagery-based brain-computer interface," *Journal of neural engineering*, vol. 10, no. 4, 2013.
- [51] D. Melliger, M. Shomin, N. Michael, V. Kumar, "Cooperative Grasping and Transport using Multiple Quadrotors," *Proc. of the International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System*, Nov. 2010.
- [52] G. Gioioso, A. Franchi, G. Salvietti, S. Scheggi, D. Prattichizzo, "The Flying Hand: a Formation of UAVs for Cooperative Aerial Tele-Manipulation", *Proc. of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4335-4341, 2014.
- [53] M. Orsag, C. Korpela, P. Oh, "Modeling and control of MM-UAV: Mobile manipulating unmanned aerial vehicle," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 69, pp. 227-240, 2013.
- [54] S.-S. Kim, S.-W. Choi, H.-J. Kim, "Aerial manipulation using a quadrotor with a two DOF robotic arm," *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE*, 2013.
- [55] S. R. Herwitz. et al, "Imaging from an unmanned aerial vehicle : agricultural surveillance and decision support," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 44, no. 1, pp. 49-61, 2014.
- [56] J.-S. Lee, H.-B. Park, K.-H. Yu, "Flight path optimization of solar powered UAV for endurance flight," *Proc. of Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015 54th Annual Conference of the. IEEE*, pp. 820-823, 2015.
- [57] H.-B. Park, J.-S. Lee, K.-H. Yu, "Experiment and evaluation of

solar powered UAV by virtual flight system,” *Proc. of Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015 54th Annual Conference of the. IEEE*, pp. 1052-1057, 2015.

[58] J. Schomann, “Hybrid-electric propulsion systems for small unmanned aircraft,” PhD Thesis. Technische Universitat Munchen, 2014.

[59] K. Fujii, K. Higuchi, J. Rekimoto, “Endless flyer: a continuous flying drone with automatic battery replacement,” *In Ubiquitous Intelligence and Computing, 2013 IEEE 10th International Conference on and 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing (UIC/ATC)*, pp. 216-223, 2013.

[60] 손성화, 강진혁, 박경준, “드론 무선통신의 개요 및 이슈,” *한국통신학회지*, vol. 33, no. 2, pp. 93-99, 2016.

[61] M.-S. Yoo, S.-K. Hong, Y.-T. Kang, D.-Y. Kim, B.-J. Kim, and S.-H. Jeong, “Real time control and video transmission of a quadrotor flying robot using LTE telecommunication network,” *Proc. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference (in Korean)*, pp. 556-559, 2015.

[62] M. Asadpour, D. Giustiniano, K. A. Hummel, “From ground to aerial communication: dissecting WLAN 802.11n for the drones,” *Proc. of the 8th ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation & characterization*, pp. 25-32, 2013.

◎ 저자 약력



김성환

- 2016년 2월 전북대 항공우주공학과 졸업.
- 현재 동 대학원 항공우주공학과 석사과정.
- 관심분야 : 무인기 설계, 영상 기반 제어 시스템.



이건희

- 2016년 2월 전북대 기계공학과 졸업.
- 현재 동 대학원 항공우주공학과 석사과정.
- 관심분야 : 멀티로터 무인기 제어, 제스처 인식, 장애물 회피 알고리즘 설계.



유기호

- 1988년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업.
- 1990년 전북대학교 기계공학과 석사.
- 1994년 Tohoku대학 기계공학과 박사.
- 1994년 ~ 1997년 Tohoku대학 공학부 Research Associate.
- 1998년 ~ 현재 전북대학교 항공우주공학과 교수.
- 2004년 MIT 객원교수.
- 관심분야 : 솔라 무인기 설계, 비행로봇(무인기) 제어 및 운용, 행성 탐사 로버 설계, 촉각제시 및 응용 등.