

5G 통신기반 농업용 드론 비행시험 절차

강병규[†]

한국항공우주연구원

The flight Test Procedures For Agricultural Drones Based on 5G Communication

Byeong Gyu Gang[†]

Korea Aerospace Research Institute

Abstract

This study aims to determine how agricultural drones are operated for flight tests using a 5G communication in order to carry out a mission such as sensing agricultural crop healthy status with special cameras. Drones were installed with a multi-spectral and IR camera to capture images of crop status in separate altitudes with different speeds. A multi-spectral camera can capture crop image data using five different particular wavelengths with a built-in GPS so that captured images with synchronized time could provide better accuracy of position and altitude during the flight time. Captured thermal videos are then sent to a ground server to be analyzed via 5G communication. Thus, combining two cameras can result in better visualization of vegetation areas. The flight test verified how agricultural drones equipped with special cameras could collect image data in vegetation areas.

초 록

본 연구는 5G 통신을 이용한 농업용 드론에 임무 카메라를 장착하여 농작물 상태 정보 획득을 위한 비행시험에 대해 다룬다. 시험 방법은 설정된 다분광카메라와 열화상카메라를 드론에 장착하고 운영 고도와 속도를 달리하여 농작물 상태 이미지를 획득하는 것이다. 다분광카메라는 다섯 가지의 분광 파장을 이용하여 농작물 상태 이미지를 획득하며 자체 내장된 GPS에서는 비행 중 획득한 이미지의 정확한 위치와 고도 정보를 비행시간과 동기화 하여 제공한다. 그리고 비행 중 획득된 열 영상 데이터는 분석을 위해 5G 통신으로 지상의 서버로 전송된다. 그러므로 분광카메라와 열영상카메라를 함께 이용할 경우 효율적인 경작지 상태 파악이 가능하며, 본 연구를 통해 농업용 드론에 임무 장비를 장착한 비행시험으로 경작지에서 농작물 상태 파악이 가능함을 증명하였다.

Key Words : Agricultural Drones(농업용 드론), Multi-Spectra Camera(다분광카메라), 5G Communication(5G 통신), Flight Plan(비행계획)

1. 서 론

드론을 활용한 산업은 방송, 물류, 에너지, 농업 등 다양한 분야에서 산업과 융합되어 많은 시너지 효과를

창출하고 있다. 또한 많은 노동력이 요구되거나 위험성이 잠재한 분야에서의 드론의 역할은 기술의 발전과 더불어 신 성장 산업으로 계속 발전될 것으로 예측된다. 현재 전 세계적으로 농업관련 드론분야의 시장 규모가 2024년까지 48억 달러로 성장할 것으로 전망되며 [1] 국내에서도 방제 및 파종 등 기존의 노동력 대체를 위한 드론의 활용 횟수가 증가하고 있어 앞으로 드론의 성장은 지속 될 것이다.

Received: Dec. 06, 2022 Revised: Feb. 20, 2023 Accepted: Feb. 27, 2023

[†] Corresponding Author

Tel: +82-42-870-3597, E-mail: kbg5362@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

또한 농작물 관리의 효율성을 높이기 위해 식물의 생육 및 병충해 정보 등을 나타내는 농작물의 식생지수 분석 업무도 드론으로 수행하는 추세다. 다분광카메라는 일반 카메라로 정보획득이 어려운 작물의 상태를 여러 가지 분광밴드를 이용하여 정보를 정확하게 파악할 수 있는 장치이다. 이는 일반 카메라에서 추출하기 어려운 분광복사량 및 반사도를 추출할 수가 있어 피사체의 물리적 성질 추정이 가능하다 [2]. 따라서 다분광카메라로 농작물의 성장상태 및 식생지수 등을 드론을 통해 정량적 정보를 얻을 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는 다분광카메라와 열화상카메라를 드론에 장착하여 농작물 상태 및 식생지수 파악을 위한 비행시험을 수행하였다. 다분광카메라는 Mica Sense에서 제작한 RedEdge-MX로 카메라 본체와 DLS 2 (Downwelling Light Sensor)로 구성된다. DLS 2는 촬영 장소에서 방출되는 분광복사조도 ($W/m^2/nm$)를 측정하는 장치이며 이는 파장별 단위 입체각에 따라 센서에 수집되는 태양 에너지 양을 의미한다. 또한 DLS 2는 독립적 GPS 기능이 내장되어 비행구역에서 촬영된 사진의 위치와 고도를 쉽게 알 수 있다는 장점이 있다. 그리고 본 제품은 다섯 개의 분광밴드를 가지고 있고 중심파장과 밴드폭은 파장에 따라 각각 Blue 475 ± 32 , Green 560 ± 27 , Red 668 ± 16 , Red edge 717 ± 12 , Near infrared $842\pm 57nm$ 이다. 그러므로 RedEdge-MX 다분광카메라는 파랑, 초록, 빨간색 그리고 사람의 눈에 보이지 않는 2개의 적외선 센서와 햇빛을 감지하는 센서로 구성되며 각각의 센서가 식물이 반사하는 다른 파장영역의 빛을 분석하여 식물의 생육정보를 관별할 수 있다.

그리고 다분광카메라와 함께 열화상카메라(EO/IR)를 드론에 장착하여 사용하였다. 열화상카메라는 원거리에서 물체의 온도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 물체가 지닌 열을 추적, 탐지하여 렌즈를 통해 확보한 이미지 영상을 시각화하여 영상으로 보여줄 수 있다. 이는 추후 농작물과 주변 지형의 온도를 측정하여 농작물의 온도 이미지를 영상으로 표현하여 관수 스케줄링 등 농업의 자동화 등에 이용된다. 또한 EO/IR 기능을 동시에 내장함으로써 촬영대상 객체 이미지의 별도

추출 없이 선택된 영역의 온도를 실시간 측정이 가능하다. 그리고 열화상카메라로 수집된 이미지 및 영상 파일은 5G 통신망을 통해 지상의 서버로 전송된다. 현재 대한민국 도심지역에서의 5G 통신서비스는 비교적 원활히 제공 되지만, 도서산간 및 농촌지역에서는 서비스가 제공이 되지 않는 지역이 많아 시험 전 확인이 필요하다.

본 연구에서는 농업용 드론과 태양 광선의 파장을 이용한 다분광카메라, 열화상카메라, 5G 통신모뎀 및 관제시스템을 이용하여 영농지역에서의 비행시험에 관해 다룬다. 비행시험은 드론의 운영 고도 및 속도, 다분광카메라 trigger time 등을 계산하여 시험기준을 설정하였고, 비행시험을 통해 검증하였다. 본 연구에서 농업용 드론 비행시험은 전남 고흥 소재의 스마트 영농단지 내 5G 통신을 활용한 농업용 드론 운영 전 비행시험을 통해 사전 문제점을 파악하고 개선하는데 목적이 있다. 스마트 영농단지 내 시스템 개념은 드론의 비행정보와 비행 중 획득한 농작물 생육 정보를 5G 통신 모뎀을 이용하여 지상의 서버로 보내고 서버에서 분류된 데이터를 관제시스템으로 전송하여 지상의 운영자들이 데이터를 분석하는 일이다. 또한 5G 통신을 사용한 목적은 고용량의 데이터를 지연 없이 광역 전송을 통해 여러 운영자에게 동시에 제공함으로써 업무영역을 확장하는 것이다. 드론을 활용한 스마트 영농 운영 개념은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 The concept of operating a smart farming using agricultural drones.

그리고 본 연구를 위한 농업용 드론 비행시험 절차는 다음과 같다. 우선 센서 성능에 따른 고도 및 GSD 값을 개발된 비행 프로그램에 입력 후 드론의 운용 속도와 카메라 촬영 가능 시간을 설정하고, 중복도와 비행 영역을 계산하여 비행시험을 수행하였다. 시험 절차는 다음 section 2에서 자세히 설명하였다.

2. 농업용 드론 비행시험 절차

2.1 GSD 및 고도 설정

농작물의 식생지수 측정을 위해 드론의 운영고도를 설정해야 하며, 설정된 고도에 따라 촬영된 디지털 사진의 해상도가 달라진다. 공중에서 촬영된 디지털 사진의 지상 샘플 거리(GSD: Ground Sampling Distance)는 지상에서 측정된 사진의 픽셀간 중심 거리를 의미하며; **Fig. 2**, 고도 및 카메라 성능에 따라 그 값이 변한다. 카메라 정보는 렌즈 사이즈 및 화소수(pixels)를 의미하며, 일반적인 경우 시험 시 상업용 카메라를 사용하기 때문에 그 값은 항상 일정하다. 그리고 GSD 값을 계산하기 위해 아래 **Eq. 1**을 이용하였다. 따라서 GSD의 값은 고도에 따라 변함을 알 수 있으며, GSD 값이 클수록 촬영된 사진의 화질이 떨어져 분석에 어려움이 있을 수 있어 계산과 반복적 비행시험을 통해 임무에 맞는 고도 설정이 중요하다.

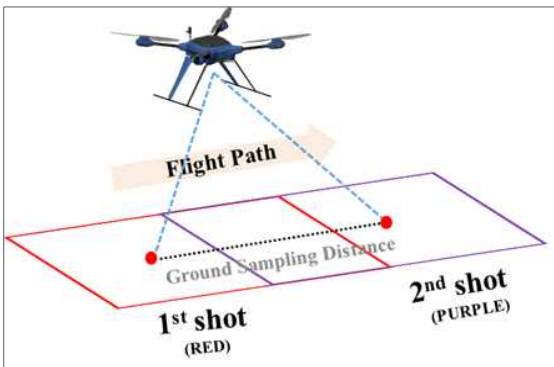


Fig. 2 The concept of GSD depicted by a drone

$$GSD \text{ (cm/pixel)} = \frac{Sw * H}{ImW * F_R} \quad (1)$$

Sw = Sensor Width (mm)

H = Flight Height (m)

ImW = Image Width (pixels)

F_R = Lens Focal Length (mm)

위의 식(1)에서 Sw는 카메라 렌즈 사이즈, ImW는 화소수를 의미한다.

그리고 카메라 사이즈와 고도를 이용하면 드론에서 촬영한 한 장의 사진에 대한 평균 촬영 영역도 아래 **Eq. 2**와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Average Image Area} = S_W * S_H * \left(\frac{H}{F_R}\right)^2 \quad (2)$$

S_H = Sensor Height (mm)

그러므로 위의 두 식에서 비행고도와 카메라 정보를 이용하면 촬영 지역의 평균 면적과 디지털 사진의 크기를 알 수가 있다.

2.2 중복도 설정

드론에서 촬영된 디지털 사진의 중복도는 드론의 진행 방향과 인접 경로에서 사진의 중복도를 의미하며, 퍼센트(%)로 표시된다. 촬영된 지역에서 디지털 사진의 중복도는 농작물의 식생지수 분석에 영향을 미치는 중요한 요소이며, 비행지형 및 대상작물에 따라 설정이 다르다. 특히 지형의 높낮이가 있는 지역은 중복도를 최소 75% 이상으로 설정 후 비행시험 수행을 추천한다 [3].

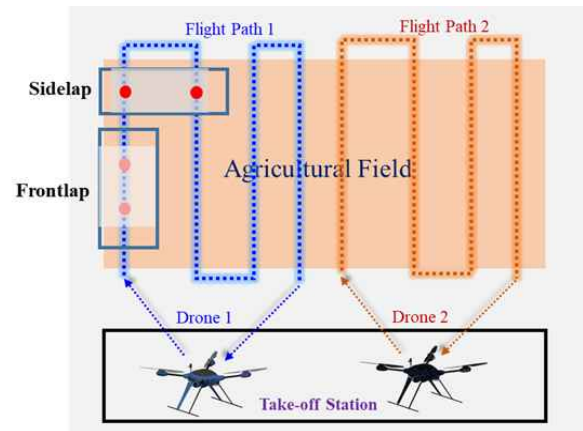


Fig. 3 The concept of overlap in filming areas

하지만 실제 비행시험에서 드론의 진행방향과 인접코스 중복도를 동시에 설정하여 임무 비행을 수행하기 어려워 일반적인 경우 드론의 진행 방향으로만 중복도를 설정하여 항공 촬영을 수행한다. 중복도를 높이면 촬영된 사진의 분석 정확도를 높일 수 있지만, 많은 메모리 용량을 차지하여 분석에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 드론의 진행 방향으로 중복도 식은 아래 Eq. 3과 같다.

$$\text{Frontlap (\%)} = 1 - \frac{V_D * V_{TS}}{GSD * ImH} * 100\% \quad (3)$$

V_D = Drone Flight Speed (m/s)

V_{TS} = Camera Trigger Speed (mm/s)

여기서 V_{TS} 는 지상에서 드론에 장착된 카메라에 명령을 전송하는 시간을 의미하며, 통신 속도를 고려하여 trigger time을 설정해야한다. 그리고 trigger time은 카메라 작동을 위한 명령어 전달 시간이며 카메라 촬영 시간을 의미 하진 않는다. 카메라 촬영 시간은 trigger time 후 비행체 속도 및 비행거리에 따라 다시 설정해야 한다.

촬영기선, M은 Eq. 4와 같고 촬영시간 Z는 Eq. 5로 표현된다.

$$M = \text{Footprint} * \frac{100 - \text{Frontlap (\%)}}{100} \quad (4)$$

$$Z = \frac{M}{\text{Flight Speed}} \quad (5)$$

Eq. 4에서 언급된 footprint는 운용중인 드론의 고도에서 촬영된 디지털 사진의 커버리지를 의미한다.

3. 농업용 드론 스펙 및 임무장비

열화상카메라 및 다분광카메라를 장착한 농업용 드론을 이용하여 비행시험을 수행하였다. 비행체의 제원은 아래 Table. 1과 같다. 배터리를 제외한 비행체 무게

는 14 kg이며 최대 이륙무게는 24 kg이다. 표준무게, 14 kg 기준으로 최대 20분 간 비행 가능하며 최대 이륙무게 기준으로는 10분 동안 비행할 수 있다. 영상장비 장착 후 촬영을 위한 임무비행 속도는 5 m/s로 설정 하였으며, 다분광카메라용 가시광선 측정장치인 DLS (Downwelling Light Sensor)도 장착하였다. Fig. 4는 농업용 드론에 장착된 임무장비를 나타낸다.

Table 1 : Specifications of a drone

Category	Item
Drone	Empty Weight : 14 kg MTOW :24 kg
Battery (2 ea)	Nominal Voltage : 46V Capacity : 25000 mAh Weight : 5kg
Thrust/ Weight Ratio	1.7 (MTOW with 100% Throttle)
Hovering Hour	14 kg : 20 min 24 kg : 10 min
Mission Devices	Multi-Spectra Camera Thermal Image Camera (EO/IR)

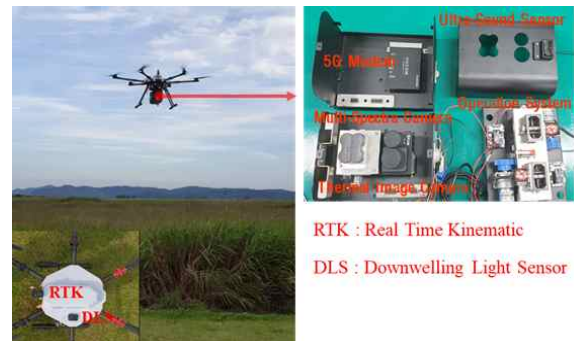


Fig. 4 A drone equipped with mission devices

3.1 임무장비 파라미터 설정

농작물의 생육상태 및 식생지수 (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index) 측정을 위해 다분광카메라 파라미터를 아래 Table. 2와 같은 순서로 설정하였다. 카메라의 화각(Field of View)과 비행고도는 촬

영된 사진의 평균 크기 (Width * Height)를 계산할 수 있고 화소수와 비행고도는 촬영된 두 사진 사이의 중심거리(GSD : Ground Sample Distance)를 측정할 수 있다. GSD 값은 값이 적을수록 높은 화질을 의미하지만 그만큼 높은 용량의 저장 공간을 필요함을 의미하기도 한다. 일반적으로 GSD 값은 고도 50 m에서 3.47 cm/pixel, 고도 100 m에서는 6.94 cm/pixel의 값을 나타낸다. 그리고 비행지형이 정해지면 비행패턴을 설정할 수 있고 비행패턴에 따른 중복도도 설정할 수 있다. 중복도는 비행고도와 카메라 작동 시간에 영향을 받으며 중복도가 높아지면 후처리 과정에서 농작물의 발육상태 분석에 도움이 되나 용량 증가로 인해 분석에 많은 시간이 소요된다는 단점도 있다. 또한 중복도와 속도 그리고 비행거리를 설정하면 촬영된 사진의 매수를 계산할 수 있다.

Table 2 Parameters setting for multi-spectra camera

Factor	Result	Properties
Camera Info	Properties	
	Pixel Size	3.75 μm
	Resolution	1280 * 960 (1.2MP * 5 Imagers)
	Sensor Size	4.8 mm * 3.6 mm
	Focal Length	5.4 mm
	Field of View	Horizontal: 47.2° Vertical: 35.4°
Flight Altitude	Footprint	(Width, Height)
	GSD	Ground Sampling Distance
Flight Course	Image Capturing Range	Flight Pattern
Overlap (%)	Numb of Pictures	Speed, Camera Trigger Time

3.2 비행시험

농작물의 식생지수 측정을 위해 고도 100 m와 50 m에서 비행시험을 수행하였다. 중복도는 75 %로 설정하고 드론 운영 속도는 5 m/s으로 비행하였다. 그리고 카메라 trigger time은 2 mm/s으로 설정하고 flash time은 3.5초 (100 m)와 2.7초 (50 m)로 각각 설정하였다. 여기서 trigger time 지상에서 다분광카메라까지

명령어가 도달되는 시간을 의미하며, flash time은 명령어 수신 후 카메라가 연속적으로 촬영하는 시간을 말한다. 그리고 비행패턴은 아래 Fig. 5와 같이 설정하여 촬영임무를 수행하였다.



Fig. 5 The flight path for capturing images of crop status and NDVI

그리고 열화상카메라에서 촬영된 영상은 5G 통신망을 통해 실시간으로 지상의 고정 관제시스템으로 전송되며 다분광카메라에서 촬영된 디지털 이미지는 자체 메모리에 저장되어 비행시험 후 분석 프로그램을 통해 해석이 가능하다.

촬영 동안 드론의 비행고도 및 속도 데이터는 아래 Fig. 6와 Fig. 7과 같다. Fig. 6에 따르면 임무비행 전 고도 20m에서 장비 및 드론상태 점검 비행을 수행하여 이상 없음을 확인 후 고도 100m에서 약 12분간 임무비행을 수행하였다.

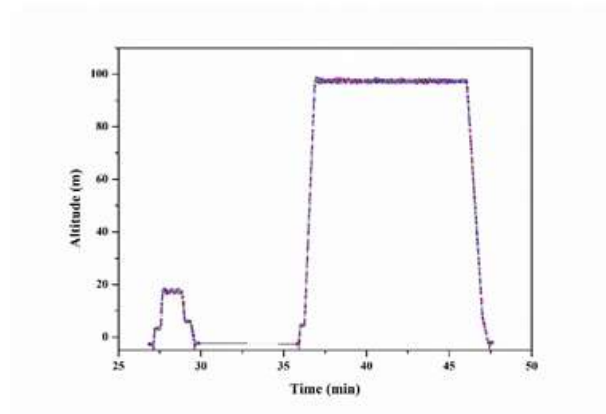


Fig. 6 Flight altitude

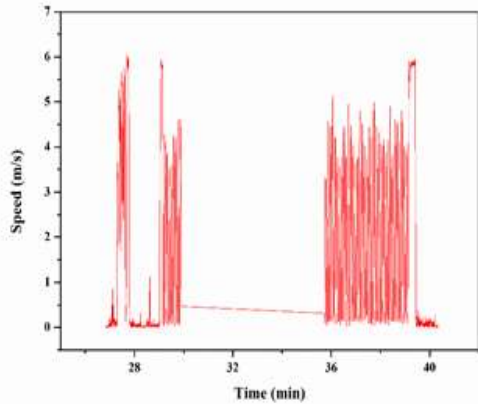


Fig. 7 Flight speed

그 결과 다분광카메라 및 열화상카메라로 촬영한 부분 적 이미지는 아래 Fig. 8과 같다.

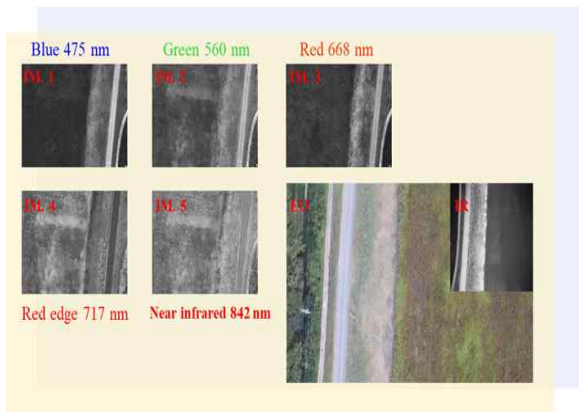


Fig. 8 Captured images during the flight

다분광카메라에서 1회 촬영된 디지털 이미지는 IM.1 ~ IM.5까지 총 5종이며 이때 주파수 분광대역은 475 nm ~ 842 nm이다. 그리고 열화상카메라로 촬영된 영상은 광학모드 영상과 열영상 모드 2가지며 PWM 신호세기에 따라 광학 및 열영상 전용모드으로도 사용 가능하다.

비행 후 다분광카메라로 촬영된 디지털 이미지 분석 결과 농작물의 상태 및 식생지수는 아래 Fig. 9와 같다.

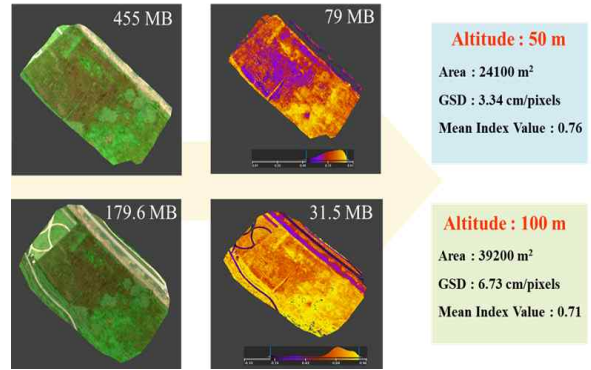


Fig. 9 The result of a NDVI processing

Fig. 9에 촬영된 실제 지형은 Fig. 5의 위성 이미지와 같으며, 고도 50 m와 100 m에서 측정된 값을 비교 분석하였다. 100 m에서 촬영된 디지털 사진의 GSD 값은 6.73 cm/pixels로 50m에서 촬영된 디지털 사진의 GSD 값 3.34 cm/pixel보다 크다. 이는 촬영된 디지털 사진 간 중심거리가 길어 상대적 사진의 화질이 떨어짐을 의미하지만, 같은 비행경로에서 더 많은 촬영지역을 커버한다는 의미이기도 하다. Fig. 9에서 100 m에서 촬영된 정형화된 사진의 크기는 179.6 MB이며 NDVI 형상 이미지는 31.5 MB이다. 그리고 50 m에서 촬영된 정형화된 사진은 455 MB이고, NDVI 형상 이미지는 79 MB로 100 m에서 촬영된 이미지보다 용량이 크다는 것을 알 수 있어 고도가 화질에 영향을 미침을 의미한다.

그리고 각각의 고도에서 측정한 평균 NDVI 값은 50 m에서 0.76, 100 m에서는 0.71로 50 m에서 측정한 값이 더 높다. 정확한 분석은 추후 연구를 통해 다시 진행할 예정이지만, 단순 운영고도 차이에 의한 결과 값의 변화는 높은 고도에서는 더 많은 지역을 커버하기 때문에 주변의 도로가 식생지수 값에 포함되어 NDVI 값이 낮아진 것으로 판단된다. NDVI 값은 1에 가까울수록 식물의 활력도가 높음을 의미하며 0에 수렴할수록 식생이 없는 토양, 건물 등의 분포도가 높음을 나타낸다 [4].

영상 촬영은 복사 (radiometric), 일사량 (sunlight intensity), 반사율 (reflectance) 등에 의해 결과 값이 변하기 때문에 정확한 교정 값을 통해 보다 더 선명한 디지털 영상을 만들어 낼 수 있다. 그리고 교정된 복사 값은 다분광카메라 센서의 black level, sensitivit

y, sensor gain 등의 값을 보완 하는데 사용된다 [5]. 또한 교정된 값과 다분광카메라에서 추출된 주파수의 여러 조합으로 다른 여러 종류의 식생지수를 계산할 수 있어 농업관련 정보를 (Vegetation Information) 향상 시킬 수 있다 [6].

4 결 론

본 연구에서는 농업용 드론에 다분광카메라 및 열화상카메라를 장착하여 농작물의 상태 및 식생지수 측정을 위한 비행시험을 수행하였다. 다분광카메라는 5개의 분광 밴드에 맞는 파장영역의 빛을 분석하여 식물의 생육정보를 판별할 수 있고 열화상카메라는 식물의 온도와 주변토지의 온도를 비교 분석하여 관수 스케줄 관리에 활용된다. 다분광카메라에서 디지털 이미지 촬영 전 드론의 운영 고도 속도 그리고 중복도를 설정해야 정확한 NDVI 값을 측정할 수 있다. 열화상카메라로 촬영한 영상은 5G 통신모뎀을 이용하여 지상의 관제시스템으로 전송되고 다분광카메라에서 촬영한 디지털 사진과 함께 농작물의 식생지수 분석에 활용된다.

따라서 분광 밴드에서 획득한 이미지와 열영상으로 저장된 영상이미지를 동시에 분석함으로써 농작물의 상태를 효과적으로 분석할 수 있다. 그리고 본 연구에서 사용한 농업용 영상 센서들은 드론을 활용한 스마트 영농에 필요한 핵심 장비로써 만약 환경 데이터 기반의 센서 기술과 결합되면 농업 생산성 향상을 증진시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 드론의 운용 기술과 함께 운영함으로써 앞으로 부족한 농촌 노동력을 보완 할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 2023년 ‘5G기반 드론활용 스마트영농 실증 및 확산사업’ 과제 (CR23030) 지원되어 수행되었습니다.

References

- [1] H-K. You, J. U-S. Jeong, Y-W. Chae, S. Kim, “An analysis of economic feasibility and perception of drone for pesticide application,” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, pp. 235-245, 2021.
- [2] S. Baek, S. Koh, W. Kim, “Calculation of correction coefficients for the RedEdge-MX multispectral camera through intercalibration with a hyperspectral sensor,” *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 38, pp 707-716, 2020.
- [3] J. Assmann, J.T.Kerby, A.M. Cunliffe, I.H.Myers-Smith, “Vegetation monitoring multispectral sensor-best practice and lessons learned from high latitudes,” *NRC Research Press*, 2018.
- [4] S. Orlando, M. Minacapilli, M. Sarno, A. Carrubba, A. Motisi, “A low-cost multispectral imaging system for the characterization of soil and small vegetation properties using visible and near-infrared reflectance,” *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 202, pp 107359, 2022.
- [5] X. Rui, L. Changying, B. Sergio, “Development and Testing of a UAV-Based Multi-Sensor System for plant Phenotyping and Precision Agriculture,” *Remote Sensing*, V, 13, pp 3517, 2021.
- [6] C. Qiong, Y. Guijun, D. Dandan, C. Longyue, W. Fan, X. Bo, “Combining multispectral and hyperspectral data to estimate nitrogen status of tea plants (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) under field conditions,” *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 198, pp 107359, 2022.