

드론 열화상 및 초분광 센서를 이용한 농업가뭄 모니터링 적용 연구*

함건우¹ · 이정민¹ · 배경호² · 박홍기³

A Study on Agricultural Drought Monitoring using Drone Thermal and Hyperspectral Sensor*

Geon-Woo HAM^{1*} · Jeong-Min LEE¹ · Kyoung Ho BAE² · Hong-Gi PARK³

요 약

최근 ICT 기술과 융합 기술의 발달에 힘입어 농업 분야에서도 많은 변화와 혁신이 추구하고 있다. 과거 전통적인 농작물 생산 중심의 농업 분야에서 다양하고 첨단 기술과 접목되어 6차 산업이라는 새로운 산업 형태를 만들고 있으며 이러한 변화의 핵심은 농업 분야에서도 ICT 기술과 공간정보의 융합이 있기에 가능하다. 센서를 이용한 농작물 작황 분석과 이를 공간정보 기반에서 분석 및 예측하기 위한 다양한 접근이 시도되고 있다. 특히 최근에는 드론을 이용한 농작물 재배 및 스마트 팜을 위한 다양한 연구가 추진되고 있다. 하지만, 이러한 연구는 드론을 이용한 직접적인 농작물 재배 등의 물리적 활용과 공간정보 구축에 국한되는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 농작물 재배에 가장 영향을 미치는 가뭄에 대한 과학적이고 객관적인 지표를 산출하기 위한 드론을 활용한 농업 가뭄 모니터링 체계 구축을 목표로 하였다. 이를 위해 가뭄 우심지역에 대하여 토양 수분 센서를 설치하여 실제 토양의 수분을 확인하고 기준값으로 설정하여 드론에서 구축한 온도 및 정규식생지수를 비교분석하였다. 드론 열화상 센서에서는 대상 지역의 토양 온도를 산출하였으며, 드론 초분광센서를 이용하여 대상 농작물의 정규식생지수를 산출하여 실제 대상 지역의 농작물의 작황상태 및 토양온도와의 상관관계를 분석하였으며, 이를 검증하기 위해 대상지역에 설치된 토양수분측정 센서를 이용하여 실제 토양수분을 산출하여 드론 성과와 비교 분석하였다. 이와 같은 접근은 비접촉 방식으로 작물의 종류, 작물의 생육정도, 단위면적 당 작황상태에 관한 데이터를 생산하여 효율적인 가뭄피해 분석에 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 드론, 공간정보, 초분광 센서, 열화상 센서, 농업 가뭄 모니터링

2019년 09월 20일 접수 Received on September 20, 2019 / 2019년 09월 27일 수정 Revised on September 27, 2019 / 2019년 09월 27일 심사완료 Accepted on September 27, 2019

* 본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호: 116117-03-03-SB010)

1 (주)신한항공 기업부설연구소 연구원 Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD(Corresponding author: how4784@naver.com)

2 (주)신한항공 기업부설연구소 연구소장 Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD

3 가천대학교 토목환경공학과 교수 Professor of Gachon university (hgpark@gachon.ac.kr)

※ Corresponding Author E-mail : how4784@naver.com

ABSTRACT

As the development of ICT and integration technology, many changes and innovations in agriculture field are implemented. The agricultural sector has shifted from a traditional industry to a new industrial form called the 6th industry combined with various advanced technologies such as ICT and IT. Various approaches have been attempted to analyze and predict crops based on spatial information. In particular, a variety of research has been carried out recently for crop cultivation and smart farms using drones. The goal of this study was to establish an agricultural drought monitoring system using drones to produce scientific and objective indicators of drought. A soil moisture sensor was installed in the drought area and checked the actual soil moisture. The soil moisture data was used by the reference value to compare and analyze the temperature and NDVI established by drones. The soil temperature by the drone thermal image sensor and the NDVI by the drone hyperspectral was analyzed the correlation between crop condition and soil moisture in study area. To verify this, the actual soil moisture was calculated using the soil moisture measurement sensor installed in the target area and compared with the drone performance. This study using drone drought monitoring system may enhance to promote the crop data and to save time and economy.

KEYWORDS : *Drone, Spatial Information, Hyperspectral Sensor, Thermal Sensor, Agricultural Drought Monitoring*

서론

환경 변화 및 이상기후 변화로 인해 가뭄, 집중호우 등의 기상이변이 자주 발생한다. 이러한 기상이변은 자연재해로 구분되면 많은 부분에서 피해를 주고 있으며 특히 농작물에 많은 피해를 끼치고 있다. 특히 강수량은 농작물의 재배에 직접적인 성장에 영향을 주는 중요한 인자로 이에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 이에 가뭄에 대한 공간정보 기반의 모니터링 체계가 필요하며 국소적이고 과학적인 데이터를 통한 농작물 모니터링 체계가 필요하다.

가뭄의 사전적 의미는 장시간에 걸친 강수의 부족으로 발생하는 물 부족 현상을 말하며 기상학적·농업적·수문학적·사회경제학적 가뭄으로 분류된다. 우리나라는 기상청, 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 소방방재청 등 관련 기관의 고유 목적에 따라 기상학적 가뭄지수, 농업적

가뭄지수, 수문학적 가뭄지수 등을 가뭄 모니터링을 지속적으로 수행하고 있다. 각 기관의 가뭄 모니터링 시스템에서는 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(SPI), 팔머가뭄심도지수(PDSI) 정보를 기본적으로 제공하고 있으나 각 기관별로 고유목적에 따라 가뭄지수를 산출하기 때문에 개별 기관의 정보를 통합적으로 사용하기에는 많은 한계가 있다.

정상만(2014)은 현재 다양한 가뭄 모니터링 시스템이 개발되어 활용되지만 국가적 차원에서 기상학적 가뭄지수에 의존하고 있으며, 이는 가뭄의 전망에는 장점이긴 하나 실질적으로 가뭄을 진단하는데 현실성이 떨어진다는 문제점을 제기하였다. 가뭄을 평가하고 대책을 수립하기 위해서는 실제 물 공급량과 수요량의 상관성에 의해 가뭄을 판단할 수 있는 수문학적 가뭄지수가 유용하다고 주장하고 있다. 또한, 국내외 가뭄 모니터링 시스템 중 종합적으로 분석하여 가뭄정보를 제공하는 시스템은 구축되지 않아서,

기후변화에 의한 가뭄의 감시체제와 예측에 대한 대비가 시급하므로 가뭄 예경·보 시스템의 개발이 필요하다고 주장하고 있다.

이와 더불어 가뭄지역의 피해 조사 및 현황 파악이 중요한 부분이다. 특히 우리나라는 현재 현장조사원에 의해 농업재해 지역의 현황 파악이 이루어지고 있기 때문에 과학적이고 신속한 피해 평가에 무리가 있다. 박진기(2017)는 위성영상 촬영의 한계와 현장조사원에 의존한 현황 파악의 한계를 극복하기 위해 무인항공기 영상과 농작물 재해보험 DB 및 GIS 관련 자료를 이용하여 논 가뭄 피해 발생지역 분석방법을 제안하였으며 현장조사로 인해 생기는 인력, 시간, 비용의 문제를 최소화하기 위한 연구를 수행하였다. 이는 피해 대상지뿐만 아니라 주변 피해 현황을 빠른 시간에 인지할 수 있어서 정부 차원의 농업재해 파악 및 복구 계획 수립에 활용될 수 있을 것으로 판단하였다. 다만 광범위한 지역이나 전국적으로 대상지를 확대해 가기 위해 농업재해별 촬영 시기와 수확량에 따른 비용 산정 방법 등에 대한 보완 연구가 보완되어야 한다. 또한, 주기적인 공간정보 기반의 모니터링은 농업재해 대책 수립과 더불어 농작물 수급 동향 및 농업통계 분야에 크게 기여할 것으로 판단하였다.

무인항공기는 간편하고 경제적이기 때문에 기존 항공측량의 단점을 보완할 수 있으며 고해상도 영상을 취득할 수 있기 때문에 드론을 통해 획득한 영상의 처리와 관련한 연구가 많이 진행되고 있다. 윤부열(2014)은 소규모 지역에서의 항공측량의 어려움을 언급하였으며, 드론을 기반한 공간정보 구축의 제도적 방안을 제시할 정도로 무인항공기의 활용성은 매우 높아지고 있다.

드론을 이용한 모니터링에 관한 연구에서 김유중(2017)은 고압 송전선의 처짐량의 모니터링을 위해 드론 기반 사진측량 기법을 활용하였고, 박진기 등(2015)은 드론으로 촬영한 항공영상을 이용하여 저수지 피해상황에 대한 모니터링에 대한 연구를 진행하였고, 이근상 등(2016)은 실제증발산량의 산정을 위해 드론 원격정보를 활용하여 진행하였다. 이후동(2017)

는 드론 디지털 영상을 이용하여 소나무재선충 피해목에 대한 GIS 분석을 수행하였고, 천병석(2017)은 소규모 지역의 시계열에 따른 지형 변화 분석을 위한 자료로 활용하였다.

본 연구에서는 드론을 이용한 농업 가뭄 모니터링 적용 가능성을 제시하기 위해 대상 지역과 작물에 대하여 드론 열화상 및 초분광센서를 이용하여 과학적인 데이터를 구축하였다. 구축된 열화상데이터와 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index) 데이터의 농업 가뭄 모니터링 적용 가능성을 분석하기 위해 실제 대상지에 설치된 토양수분 측정 센서를 이용하여 공간정보 데이터와 토양수분과의 상관성을 분석하여 가뭄 모니터링에 활용될 수 있는 기술 개발 방향을 제시하고자 한다.

연구대상지 선정 및 드론 촬영

1. 연구 대상지 선정

본 연구에서는 드론을 이용한 농업 가뭄 모니터링 적용 연구를 위해 실제 우심지역을 선정하여 드론 촬영과 토양수분 측정을 실시하였다. 연구 대상지에는 실제 농작물 성장 시기에 드론 촬영을 실시하여 연구의 실효성 증진에 노력하였다. 대상지 선정 원칙은 드론 촬영이 용이한 곳, 농작물 생육시기에 따른 드론 촬영 및 토양수분 수집이 용이한 곳, 토양수분 변화 확인이 가능한 곳으로 그림 1과 같이선정하였다.

2. 드론 촬영 및 기초자료 생성

드론을 이용한 공간정보 구축은 농작물 성장이 왕성한 6월에 걸쳐 실시하였다. 가장 먼저 농작물을 파종하기 이전에 대상지에 대한 기초 자료를 구축하기 위하여 일반 RGB센서가 탑재된 고정익 드론을 이용하여 정사영상과 DSM 공간정보를 그림 2과 같이 구축하였다. 기초자료를 이용하여 대상 지역의 경사도 및 배수구 등을 고려하여 토양수분측정 센서를 운영하였다.

토양수분측정 장치는 그림 3과 같이



FIGURE 1. Test Area

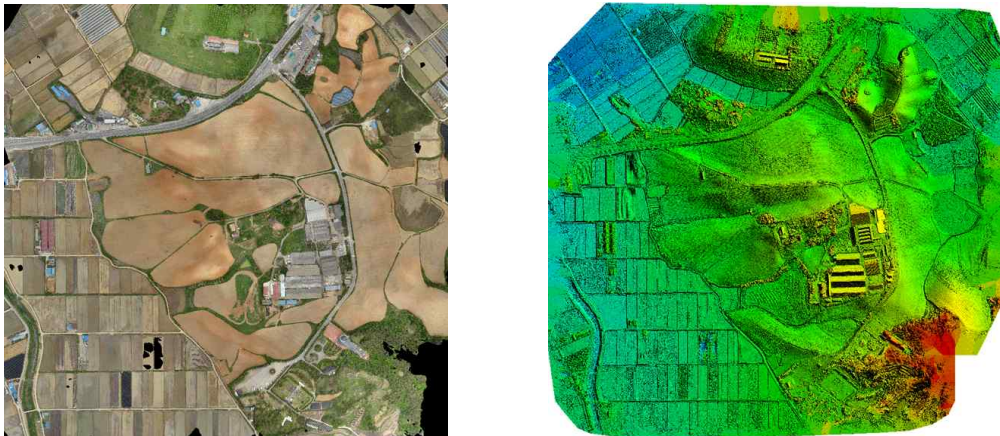


FIGURE 2. Ortho Image and DSM using Drone

TDR(Time Domain Reflectometry) 방식의 GS-1을 이용하였으며, 토양 내에 고주파를 송출하여 되돌아오는 반사파의 시간 차이를 이용하는 방식으로 전기전도도의 영향을 받지 않아 안정적인 측정이 가능한 장점이 있다.

본 연구에 사용된 드론 열화상센서는 FLIR Duo Pro R을 이용하였으며 드론 기체는 중국

DJI의 회전익 드론 Matrice 600을 이용하였다. 열화상센서의 세부적인 제원은 그림 3과, 표 1과 같다.

드론 열화상 촬영은 2019년 6월05일 오전 10시에 실시하였다.

본 연구에 사용된 드론 초분광센서는 Nano-Hyperspec 모델로 400nm ~ 1,000nm의 파장



FIGURE 3. Soil Moisture Sensor(GS-1)



FIGURE 4. FLIR Duo Pro R

TABLE 1. Specifications of Thermal Sensor

Overview	Duo Pro R
Thermal Imager	Uncooled VOx Microbolometer
Spectral Band	7.5 - 13.5 μ m
Thermal Sensitivity	< 50 mK
Thermal Sensor Resolution Options	640 x 512
Thermal Lens Options	13mm : 45° x 37°
Thermal Frame Rate	30Hz



FIGURE 5. Hyperspectral Sensor

TABLE 2. Specifications of Hyperspectral Sensor

Overview	Nano-Hyperspec
Wavelength Range	400 - 1,000 nm
number of Bands	270
Dispersion/Pixel(nm/pixel)	2.2
Storage capacity	480GB

영역에서 영상 획득이 가능하며, 최대 270개의 분광밴드를 취득할 수 있다. 제원은 그림 4와, 표 2와 같다. 드론 기체는 중국 DJI의 회전익 드론인 Matrice 600 pro를 결합한 드론 플랫폼을 사용하였다.

초분광센서의 성과물은 그림 4와 같은 절차를 통해 산출되었다.

드론을 이용한 농업 가뭄 모니터링 DB 구축

1. 드론 열화상센서를 이용한 식생 온도 DB 구축

드론 열화상센서는 건물의 열 손실 분석, 화재진압, 수색구조, 점검과 같은 시설물 관리 모니터링에 활용되고 있다. 최근 농업 분야에서도 열화상 센서를 이용하여 농작물 작황 현황 정보

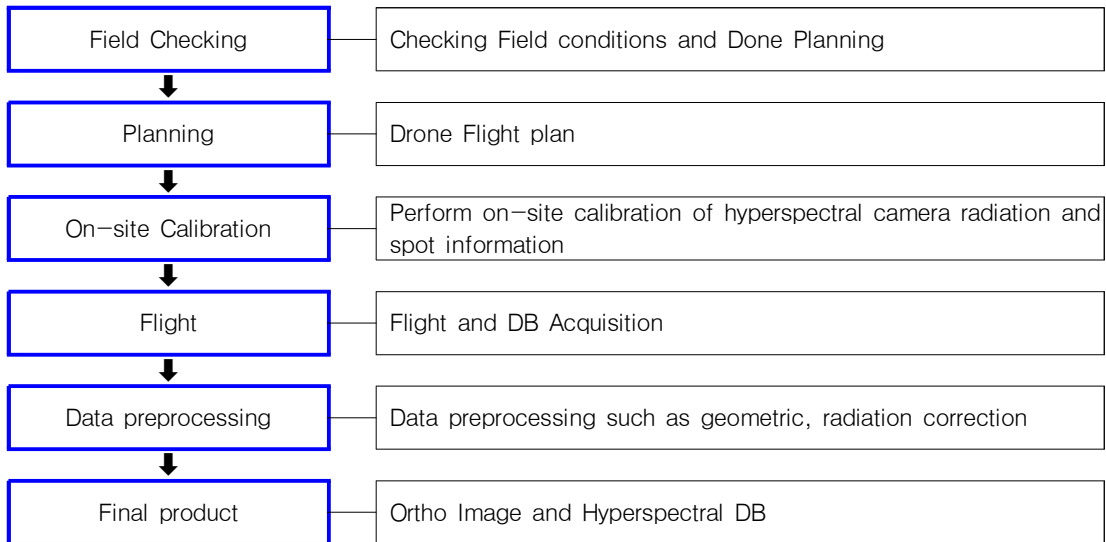


FIGURE 6. Work Procedure

과 기초자료를 획득하고 있다. 열화상센서를 이용하는 가장 큰 장점은 농작물의 온도와 주변의 공기 온도를 비교 분석하여 작물의 증산 정도를 파악할 수 있으며, 이는 농작물의 작황과 고온 스트레스 관리에 활용되고 있다. 열적외선 센서로 취득된 영상은 토양 열 속성과 관련된 변수를 통해 토양수분을 유도할 수 있으며, 광학센서 및 열화상 센서를 통해 취득한 데이터를 결합하여 토양수분을 추정하면 단일 센서로부터 취득된 성과보다 더 많은 정보를 활용할 수 있다.

본 연구에서 드론 원격정보를 활용하여 농업 가물 모니터링 체계 구축을 위해 선정된 대상지에서 Pix4Dcapture SW를 활용하여 고도 약 150m에서 GSD 21cm급으로 촬영하였다. 그리고 드론으로 촬영한 사진에 대해 그림 7과 같이 Pix4D mapper pro 소프트웨어를 이용하여 처리하였다.

열화상 데이터는 상대적인 온도 분포로 나타나며 온도가 높아질수록 녹색에서 적색으로 그림 8과 같이 표시된다. 하지만 본 과제에서는

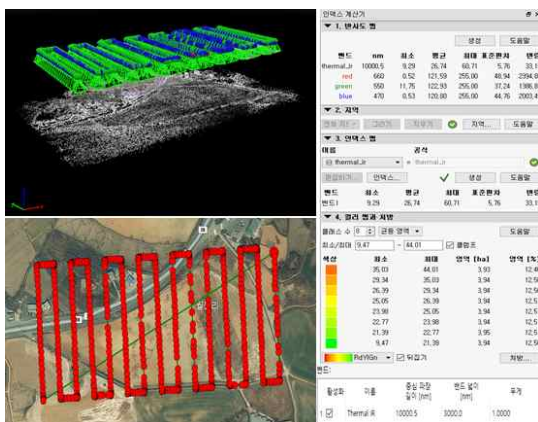


FIGURE 7. Thermal Image Processing

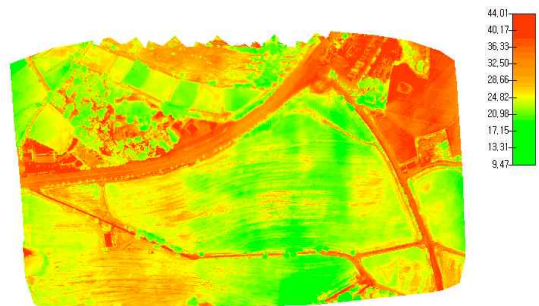


FIGURE 8. Thermal Image



FIGURE 9. Measurement of Temperature

대상지의 실제 토양온도가 필요하므로 온도 변환 과정이 필요하다. 이는 현장에서 휴대용 온도계에 의한 대상지 실제 온도 취득 후 실내자료처리 과정이 추가로 발생한다. 실제온도로 변환하기 위해 농경지, 주변 도로에서 촬영시점의 온도를 측정하였으며, 그림 9의 표시된 2지점의 온도는 21~ 40.5° C의 범위에 분포한 것으로 나타났으며, 온도값 보정을 위해 그림 10과 같이 FLIR 社의 FLIR tools SW를 활용하여 취득한 대상지의 토양 온도를 절대값으로 변환하여 산출하였다.

2. 드론 초분광센서를 이용한 NDVI DB 구축

초분광 영상은 빛의 파장 대역을 다수의 밴드로 나누어 대상체가 가지는 고유의 스펙트럼 형상을 추출하여 지표상 물체의 연속적이고 좁은



FIGURE 10. Real Temperature

파장역으로 수백 개의 분광 정보를 취득하므로 대상 물체마다 존재하는 고유의 광학적 성질 및 반사 특징을 분석할 수 있어 토지피복, 식생 등 대상 물체 구별에 주로 활용된다. 또한 최근 농업 분야에서 초분광 영상은 농작물의 분광 반사 특성을 통해 식물의 종류와 상태에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 특히 수분 또는 양분 부족에 의한 스트레스, 잎의 함수량 및 화학적 특성을 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)로 산출하여 정량적 분석이 가능하다.

식생지수는 단위가 없는 복사 값으로 식물의 상대적 활동성 및 광합성 흡수 복사량과 같은 지표로 사용된다. 식생지수중 하나인 NDVI는 식생의 활성도를 나타내는 지표로 원격탐사에서 널리 사용되는 지표 중 하나이다(Rouse, 1974).

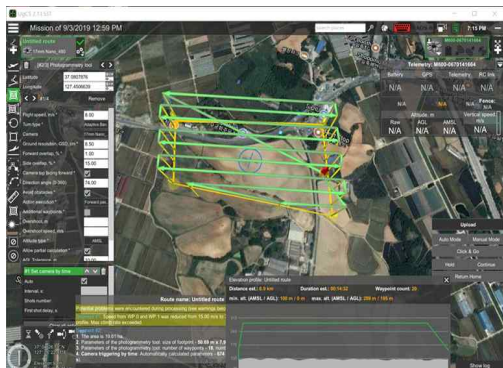


FIGURE 11. Flying Plan Using Ugcs SW

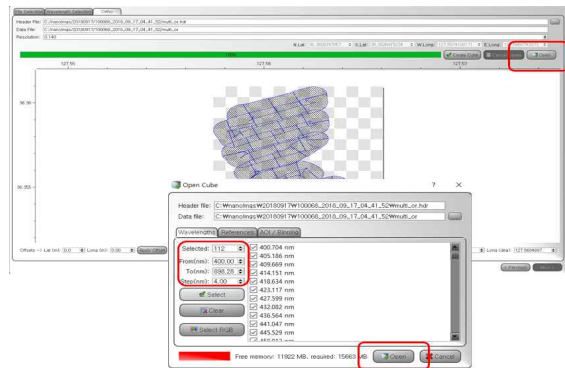


FIGURE 12. Hyperspectral Image Processing



FIGURE 13. Hyperspectral Image

정규식생지수는 -1~1사이의 값을 가지며, 농작물의 건강 상태 및 생산량 추정 등에 효율적으로 사용된다. 식생지역은 근적외선 영역이 가시광선 영역의 반사율보다 높게 나타나며, 반대로 물, 눈, 구름은 근적외선 영역이 가시광선 영역의 반사율보다 낮게 나타난다. 이에 따라 NDVI가 양수인 지역은 식생을 나타내며, NDVI가 음수인 지역은 물, 눈, 구름이다.

본 연구에서는 드론 기반한 NDVI 산출을 위해 400~1,000nm 범위의 파장 영역에 대한 촬영이 가능한 초분광센서를 촬영을 시행하였으며, 촬영은 그림 11과 같이 미국 Headwall의 자동비행 SW Ugcs 및 그림 12와 같이 설정

SW인 HyperSpec III를 통해 촬영하였으며, 전처리 과정은 현장에서 측정한 보정용 타프의 반사도 값을 통해 초분광 영상을 그림 13과 같이 취득하였다.

정규식생지수는 식생의 반사율이 가시영역에서 낮고 근적외선 영역에서 높은 성질을 이용한 단순 계산으로 나타내며 아래 식 1과 같다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \tag{1}$$

여기에서, ρ_{RED} 는 근적외선 영역에서의 반사

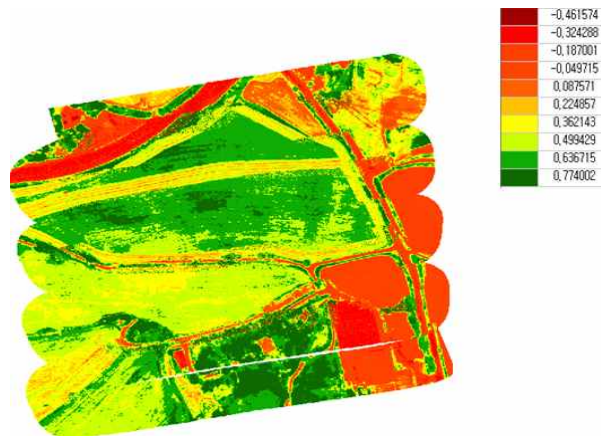


FIGURE 14. NDVI Data by Drone

을이며, ρ_{RED} 는 가시광선 영역 중 적색광 영역에서의 반사율을 나타낸다.

정규식생지수는 ENVI 소프트웨어를 기반으로 대상지역의 초분광 데이터를 활용하였으며, 취득한 밴드 103과 밴드 203을 이용하여 정규식생지수(식1)를 그림 14와 같이 계산하였다.

3. 토양수분지수 산출

토양수분지수는 농업적 가뭇의 평가에 효과적인 지표로 토양수분 물수지 모형과 Runs이론을 이용하여 산정한다. 토양수분 물수지 모형은 기상자료(강수량, 기온, 습도, 풍속 등)와 포장요수량, 위조점, 유효토층 등의 토양의 물리적 특성을 사용하여 토양 내에서 물의 유입 및 유출량을 나타내는 물수지식으로부터 각 토양별 토양수분을 추정할 수 있도록 개발되었다. 유효수분은 유효토층내에서 포장 용수량에서 위조점까지의 이용 가능한 총 수분량을 의미하며, 가뭇의 시작은 유효수분이 50%이하로 내려가는 시점으로, 가뭇의 종료는 강우에 의해 충분한 수분이 공급되어 유효수분이 50%이상일 때로 정의한다.

따라서 본 연구에서는 드론 열화상 및 초분광 카메라를 기반한 농업가뭇 모니터링 기술 적용성 판단을 위하여 드론 촬영지역과 동일한 시기에 취득한 토양수분 정보를 통해 비교분석하였다. 토양수분은 C&H사의 GS-1장비를 이용하였으며 토양 표면 아래 5cm에서 측정하였다. 이는 드론 가뭇모니터링 DB와 토양 표면의 상관성을 분석하기 위해서이다.

TABLE 3. Measurement Data of Soil Moisture Using GS-1

Point number	Soil moisture(%)
CP1	0.9
CP2	1.7
CP3	4.1
CP4	5
CP5	5
CP6	5.7
CP7	6.8

드론 농업가뭇 모니터링 DB 적용 및 결과 분석

드론 농업 가뭇 모니터링 기술 적용성 판단을 위해 가뭇 우심지역을 연구 대상으로 실험을 수행하였다. 드론의 열화상과 초분광센서 기반 드론 농업 가뭇 모니터링 DB를 구축하였으며 측정 시점을 동기화한 토양수분을 측정하여 토양수분과 드론 농업 가뭇 모니터링 DB와의 비교 분석을 실시하였다.

드론을 활용한 가뭇 모니터링 데이터와 토양수분의 상관성 분석을 위해 그림 15과 같이 토양수분값을 알고 있는 CP 7점의 온도 및 NDVI를 도출하여 표 4와 같이 요약하였다. 선점된 CP에서 토양 온도가 높은 곳은 대체적으로 NDVI 지수가 낮은 경향성을 가지는 반비례 관계를 나타낸다. 이는 토양 온도가 높을수록 식생의 활력도가 떨어지는 것으로 온도가 식생 성장에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 토양 온도 및 NDVI의 상관성을 통해 가뭇 예상지역으로 추정할 수 있다. 상기 취득한 가뭇 예상지역의 검증은 객관적인 지표인 토양의 수분 함수율을 기준으로 분석을 하였다. 그 결과 토양수분이 많이 함유된 지점에서는 NDVI가 높게 산정되며 토양수분값이 감소함에 따라 NDVI도 낮게 산출되는 것을 보아 토양의 수분 함수량이 식생에 직접적인 영향을 미치며, 이는 반대로 말해 NDVI를 근거로 토양 수분 즉 가뭇의 정도 파악이 가능할 것으로 사료된다.

본 실험을 통해 드론을 활용한 농업 가뭇 모니터링 체계 구축하여 드론 영상을 활용하여 밭지역의 토양수분 및 가뭇 상황을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

드론 농업 모니터링 적용 가능성을 분석하기 위해 농작물의 작황 현황을 알 수 있는 NDVI를 기준으로 토양의 온도와 실제 토양 수분과의 관계를 그림 16과 같이 살펴보았다. 가장 먼저 드론 열화상센서를 이용한 토양의 온도와 초분광센서를 이용한 NDVI 결과값을 비교 분석하였다. 농업 가뭇 현황을 파악하기 위해서는 토양의 실제 수분을 확인하는 것이 가장 확실한 방

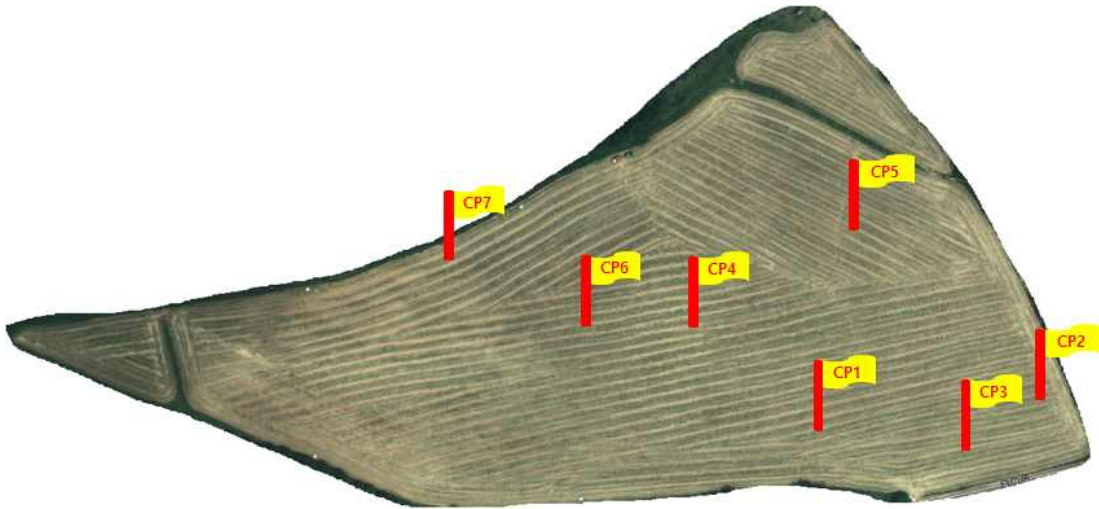


FIGURE 15. Point of Soil Moisture and Drone Data(NDVI&Temperature)

TABLE 4. Measurement Data of & Soil Moisture

Point number	Temperature (°C)	NDVI	Soil moisture (%)
CP1	24.96	0.57	0.9
CP2	23.60	0.67	1.7
CP3	23.45	0.74	4.1
CP4	22.41	0.75	5.0
CP5	21.90	0.76	5.0
CP6	21.46	0.76	5.7
CP7	20.29	0.81	6.8

법이지만, 드론 열화상센서를 통한 상대적인 토양수분 파악을 위해 드론 열화상센서를 이용하여 토양 온도를 측정하였다. 측정된 토양온도는 농작물 NDVI와 상관관계가 있으며, 토양수분과도 일정 부분 상관관계가 있음을 확인하였다. 토양온도가 높아 질수록 NDVI 값이 떨어지며 이는 농작물의 활력지수가 떨어짐을 확인하였다. 토양온도와 농작물 활력지수는 반비례 관계가 있으므로 이를 표현하기 위해 아래 그림에서는 토양 온도를 역수로 표현하여 상관관계를 표현하였다.

그림 17에서는 초분광센서에서 취득한 NDVI와 GS-1에서 취득한 토양 수분과의 상관관계를 나타낸 그림이다. 토양 수분이 풍부할수록 식생의 활력지수가 높아지는 현상을 드론 초분광센서를 이용하여 확인하였다. CP1~CP4까지

토양 수분이 증가한 구간에 대해서 NDVI 역시 다른 구간에 비해 가파른 상승세를 보임을 확인하였다. 또한 전체적인 경향에서 토양 수분이 증가함에 따라 NDVI 역시 증가함을 확인하였다.

본 연구에서 제시하는 드론 농업 가뭄 모니터링은 원격탐사 기법을 적용한 간접적인 농업 가뭄을 파악을 목적으로 한다. 그림 18에서는 토양온도, NDVI, 토양 수분과의 전체적인 경향을 도식화한 것이다. 토양 온도와 토양 수분과의 비교 분석을 통한 결론은 토양온도가 높은 지점에서는 증산 효과에 따라 상대적으로 토양 수분이 낮음을 확인하였다. 이는 드론 열화상센서를 이용한 토양 온도 측정으로 실제 토양 수분을 간접적으로 측정 가능함을 확인하였다. 다음으로 드론 초분광센서를 이용하여 NDVI를 산출한 결과 토양 수분과 상관관계가 있음을 확인하였

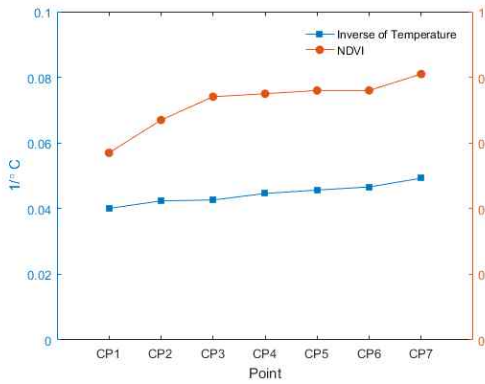


FIGURE 16. Soil Temperature Vs NDVI

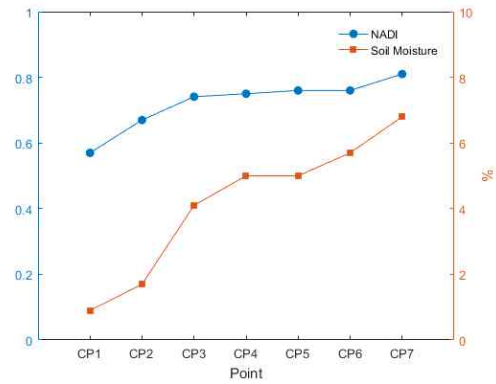


FIGURE 17. NDVI Vs Soil Moisture

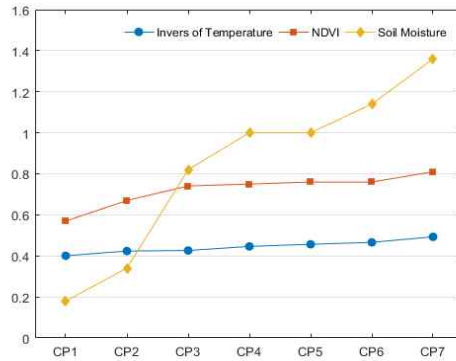


FIGURE 18. Soil Temperature, NDVI and Soil Moisture

다. 이는 드론 초분광센서에서 취득한 NDVI가 토양 수분과 상관관계가 있으며, 농업 가뭄 모니터링의 자료로 활용 가능함을 확인하였다.

결론

본 연구는 드론을 이용한 원격탐사 기법의 간접적인 농업 가뭄 모니터링 적용 가능성을 파악이다. 이를 위해 드론 열화상센서를 이용하여 토양 온도를 측정하였으며, 드론 초분광센서를 이용하여 식생의 NDVI를 산출하였다. 드론에서 취득한 데이터의 검증에 위해 현장에서 취득한 실제 토양 수분과의 비교 분석을 통하여 드론 농업 가뭄 모니터링의 가능성을 확인하였으며,

연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 드론 열화상센서를 이용하여 토양 온도를 산출하였으며 실제 토양 수분과의 상관관계를 분석하였다. 토양 수분은 온도에 많은 영향을 받고 온도가 높을수록 증산 작용으로 수분이 적어진다. 따라서 드론 열화상센서를 이용하여 토양 수분을 간접적으로 확인할 수 있으며 이는 농업 가뭄 모니터링에 적용 가능함을 확인하였다.

둘째, 드론 초분광센서를 이용하여 대상 농작물의 정규식생지수를 산출하였다. 산출된 NDVI와 토양온도 및 토양 수분과의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과 토양 온도가 높아짐에 따라 NDVI 지수는 낮게 산출됨을 확인하였다. 토양

온도는 농작물 식생 활력도에 직접적인 영향을 미치기 때문에 드론 초분광센서의 NDVI로 토양 온도 등 농업 가뭄의 간접적인 지표 산출이 가능함을 확인하였다.

셋째, 산출된 NDVI를 이용하여 토양 수분과의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 토양에 수분이 많이 함유된 지점에서는 NDVI가 높게 산정되어 나왔으며 토양수분이 감소함에 따라 NDVI도 같이 낮게 산출되는 것을 볼 수 있다. 이러한 상관성을 이용한다면 가뭄 우심지역에 대한 간접적인 토양수분 및 농업 가뭄 모니터링 파악이 가능하다.

농업가뭄 모니터링을 파악하기 위한 가장 확실한 방법은 실제 토양의 수분을 측정하는 방법이지만 이는 점 데이터 및 직접 측정의 물리적·시간적 제약이 따른다. 하지만, 드론 열화상 센서 및 초분광센서를 이용한 원격탐사 기법의 면 단위의 데이터가 취득은 효율성 측면에서 많은 기여가 예상된다. 또한 드론의 신속성과 다양한 센서 접목 등의 장점을 활용한다면 향후 드론을 이용한 농업가뭄 모니터링은 더욱 활성화될 것으로 기대된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Chae, S.H., S.H. Park and M.J. Lee. 2017. A Study on the Observation of Soil Moisture Conditions and its Applied Possibility in Agriculture Using Land Surface Temperature and NDVI from Landsat-8 OLI/TIRS Satellite Image. *Journal of Korean Remote Sensing* 33(6-1):931-946 (채성호, 박승환, 이명진. 2017. Landsat-8 OLI/TIRS 위성영상의 지표온도와 식생지수를 이용한 토양의 수분 상태 관측 및 농업분야에의 응용 가능성 연구. 대한원격탐사학회지 33(6-1):931-946)
- Kim, T.W., D.J. Choi, G.J. We and Y.C. Suh. 2013. Detection of Small Green Space in an Urban Area Using Airborne Hyperspectral Imagery and Spectral Angle Mapper. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(2):88-100 (김태우, 최돈정, 위광재, 서용철. 2013. 분광각매핑 기법을 적용한 항공기 탑재 초분광영상의 소규모 녹지공간 탐지. 한국지리정보학회지 16(2):88-100)
- Lee, G.S., S.W. Kim, S.Y. Hamm and K.H. Lee. 2016. Computation of Actual Evapotranspiration using Drone-based Remotely Sensed Information: Preliminary Test for a Drought Index. *Journal of Environmental Science International* 25(2):1653-1660 (이근상, 김성욱, 함세영, 이길하. 2016. 드론 원격정보를 활용한 실제증발산량의 산정: 가뭄지수를 위한 사전테스트. 한국환경과학회지 25(2):1653-1660)
- Lee, J.G., Y.C. Ryu, Y.H. Kim, W. Choi and H.J. Kim. 2018. Drone Infrared Thermography Method for Leakage Inspection of Reservoir Embankment. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(6):21-31 (이준구, 유영철, 김영화, 최원, 김한중. 2018. 드론 열화상활용 저수지 체체 누수탐사. 한국농공학회논문집 60(6):21-31)
- Lee, M.S., K.S. Kim, G.H. Min, D.H. Son, J.E. Kim and S.C. Kim. 2019. Recent Trends of Hyperspectral Imaging Technology (이문섭, 김거식, 민기현, 손동훈, 김정은, 김성창. 초분광 이미징 기술동향. 한국전자통신연구원. 2019)
- Park, J.G. and J.H. Park. 2017. Analysis of Rice Field Drought Area Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and

- Geographic Information System (GIS) Methods. Journal of Korean Society of Agricultural Engineers 59(3):21-28 (박진기, 박종화. 2017. 무인항공기와 GIS를 이용한 논 가뭄 발생지역 분석. 한국농공학회논문집 59(3):21-28)
- Park, J.G. Amrita Das. and J.H. Park. 2015. Application trend of unmanned aerial vehicle(UAV) image in agricultural sector : Review and proposal. Journal of Korean Agricultural Science 42(3):269-276 (박진기, Amrita Das, 박종화. 2015. 농업분야 무인항공기 영상 활용 동향: 리뷰 및 제안. 충남대학교 농업과학연구소 42(3):269-276)
- Park, S.M., D.H. Nam, J.H. Kim, G.Y. Jo, H.Y. Kim and J.B. Kim. 2016. An Analysis of Relationships between Plant Growth and Temperature Characteristics Measured with Thermographic Camera. Journal of the Korean solar Energy Society 36(2):1-7 (박상미, 남다현, 김지형, 조건영, 김하양, 김정배. 2016. 식물의 성장과 열화상카메라로 측정된 열적 특성과의 연관성 분석. 한국태양에너지학회 논문집 36(2):1-7)
- Park, Y.J., H.J. Jang, Y.S. Kim, K.H. Baik and S.H. Lee. 2014. A Research on the Applicability of Water Quality Analysis using the Hyperspectral Sensor. Journal of Korean Society for Environmental Analysis 17(3):113-125 (박연정, 장현지, 김윤석, 백경희, 이숙희. 2014. 초분광센서를 이용한 수질 분석의 적용성에 관한 연구. 한국환경분석학회지 17(3):113-125)
- Shin, S.C. and T.Y. An. 2007. Development of estimating method for areal evapotranspiration using satellite data. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 10(2):70-80 (신사철, 안태용. 2007. 인공위성 자료를 활용한 광역 증발산량의 산정방법 개발. 한국지리정보학회지 10(2):70-80)
- Yun, B.Y. and J.O. Lee. 2014. A Study on Application of the UAV in Korea for Integrated Operation with Spatial Information. Journal of Korean Society for Geospatial Information System 22(2):3-9 (윤부열, 이재원. 2014. 무인항공기(UAV)의 공간정보 통합운동을 위한 국내적용 방안 한국지형공간정보학회지 22(2):3-9) 