

드론 생육조사

1. 개발결과 요약

키워드	채소작물, 생육모니터링, 초분광영상, 다분광영상, 식생측정																																																	
핵심기술	채소작물의 생육상태가 예측 가능한 무인 영상장치 개발																																																	
최종목표	채소작물의 생육상태의 모니터링 및 생육 정보를 예측할 수 있는 정밀한 저고도 고해상도 무인 영상장치 개발함.																																																	
개발내용 및 결과	<p>○ 다분광 및 초분광 영상을 통한 케노피 상태의 분석으로 작물의 식생 정보를 확인할 수 있는 센싱기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none">- 드론과 다분광 및 초분광 장치를 이용하여 분광 영상을 획득하고 식생 정보를 모니터링 할 수 있는 센싱기술을 개발함. 이는 인력, 비용, 시간이 많이 소요되는 기존의 생육조사 방식을 벗어나, 빠르고 정확한 방식의 분석이 가능함 <p>○ 식생지수 및 다변량 분석법을 이용하여 작물의 생육 정보를 예측할 수 있는 예측모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none">- 다분광 영상을 이용하여 작물의 식생 정보의 분석이 가능한 분석모델을 개발함. 모델은 작물의 상태를 객관적인 지표로 측정할 수 있는 식생지수(Vegetation Index)를 사용하여 개발하였음- 초분광 영상을 이용하여 작물의 식생 정보의 분석이 가능한 모델을 개발함. 모델은 대상의 물리 화학적 분석이 가능한 Chemometrics 분석법(PCA regression)을 이용하였으며 결과는 다음과 같음- 분석의 지표로 사용된 R 값의 경우 두 변수의 상관관계의 크기를 정량화시킨 값으로 1에 가까울수록 식생지수와 지표 간의 상관 계수가 높다고 할 수 있음. 1~0.7의 경우 매우 강한 상관관계를 가지며 0.7~0.3의 경우 강한 상관관계를 나타냄. 0.3~0.1의 경우 약한 상관관계를 나타낸다고 볼 수 있음 <table><tr><th>마늘</th><th>초장</th><th>엽적</th><th>구중</th><th>구고</th><th>구폭</th><th>인편수</th><th>둘레</th></tr><tr><td>다분광(R)</td><td>0.8</td><td>0.69</td><td>0.94</td><td>0.78</td><td>0.94</td><td>유의성 없음</td><td>0.72</td></tr></table> <table><tr><th>대추</th><th>엽장</th><th>엽폭</th><th>엽적</th></tr><tr><td>다분광(R)</td><td>0.69</td><td>0.65</td><td>유의성 없음</td></tr><tr><td>초분광(R)</td><td>0.92</td><td>0.89</td><td>0.8</td></tr></table> <table><tr><th>대파</th><th>초장</th><th>인편수</th><th>경계중</th><th>위경길이</th><th>엽장</th><th>엽폭</th></tr><tr><td>다분광(R)</td><td>0.89</td><td>0.78</td><td>0.64</td><td>유의성 없음</td><td>0.85</td><td>0.59</td></tr><tr><td>초분광(R)</td><td>0.88</td><td>0.81</td><td>0.84</td><td>0.92</td><td>0.86</td><td>0.76</td></tr></table>	마늘	초장	엽적	구중	구고	구폭	인편수	둘레	다분광(R)	0.8	0.69	0.94	0.78	0.94	유의성 없음	0.72	대추	엽장	엽폭	엽적	다분광(R)	0.69	0.65	유의성 없음	초분광(R)	0.92	0.89	0.8	대파	초장	인편수	경계중	위경길이	엽장	엽폭	다분광(R)	0.89	0.78	0.64	유의성 없음	0.85	0.59	초분광(R)	0.88	0.81	0.84	0.92	0.86	0.76
마늘	초장	엽적	구중	구고	구폭	인편수	둘레																																											
다분광(R)	0.8	0.69	0.94	0.78	0.94	유의성 없음	0.72																																											
대추	엽장	엽폭	엽적																																															
다분광(R)	0.69	0.65	유의성 없음																																															
초분광(R)	0.92	0.89	0.8																																															
대파	초장	인편수	경계중	위경길이	엽장	엽폭																																												
다분광(R)	0.89	0.78	0.64	유의성 없음	0.85	0.59																																												
초분광(R)	0.88	0.81	0.84	0.92	0.86	0.76																																												

기술개발 배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업산업은 모든 산업의 근간이 되는 산업으로 식량 생산뿐만 아니라, 여러 공익적 기능을 창출하는 산업임. 하지만 현대 대한민국 농업의 경우 많은 어려움을 겪고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 농산물 가격의 불안정, 낮은 농업소득, 고령화 및 농산물 시장 개방 등으로 많은 불안감을 나타내고 있으며 20년 동안 지속되는 소득 정체와 낮은 직업만족도를 나타내고 있음 ○ 식생 정보의 측정은 작물의 등급판정 및 수확량예측을 위한 매우 중요한 조사임. 하지만 많은 시간과 비용의 소요 및 농가의 상품성 훼손 우려 등으로 인해 많은 어려움이 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 인력에 의존한 방식의 경우, 많은 인력과 비용이 발생하고 전수조사할 수 없다는 단점이 있음. 또한, 농가의 상품판매를 위해 상품을 훼손하는 파괴적인 방법이 불가능하며, 병해충 우려 및 지형적 요건으로 인한 접근이 불가능한 지역은 조사가 이루어지기 힘들다는 단점이 있음 ○ 이를 해결하기 위해서는 기존의 방식을 보완을 유지한 새로운 방법이 필요함. 4차산업혁명에 발맞추어 새로운 핵심기술을 접목한 스마트 농업이 새로운 대안으로 떠오르고 있으며 이를 위해서 기존의 재래적 방식의 보완이 가능한 핵심기술의 개발이 요구되고 있음 ○ 드론 시장의 성장으로(추정치 : 90조 원, 2026년) 다양한 분야에 드론 시장의 협업이 이루어지고 있음. 특히 농업의 경우 4차산업혁명에 새로운 핵심기술로 주목받고 있으며 높은 수익 잠재력을 지니고 있음 ○ 하지만 드론 시장의 경우 선진국보다 10~50% 정도 뒤떨어져 있으며, 산업시장의 경우 취미시장에 머무는 극 초반 단계에 있음. 드론의 산업시장은 아직 전 세계적으로 출발단계에 있는 만큼 핵심기술 개발을 통해 세계시장과 경쟁할 경쟁력 확보가 가능함 ○ 이에 본 연구에서는 드론과 분광 영상카메라를 이용하여 식생 정보의 파악이 가능한 시스템을 개발하고자 함. 이는 기존의 식생 정보 조사의 단점을 극복하고 빠르고 정확한 전수조사가 가능한 시스템임. 이 기술은 기존의 농업환경을 개선하고 세계드론 시장의 진출이 가능한 핵심기술이 될 것으로 판단됨
핵심개발 기술의 의의	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 채소작물의 생육조사 경우 인력에 의존한 노동집약적인 방법으로, 큰 비용과 시간이 소요되는 상황임. 또한, 뿌리채소의 경우 파괴적인 방법으로 조사가 진행되어 상품이 훼손되어 수익창출이 어렵다는 단점이 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 현재 생육조사의 경우 샘플채취를 통한 표본조사 방식이 이루어지고 있으며, 기존의 자원으로는 전수조사할 수 없다는 단점이 있음. 드론을 이용한 생육조사의 경우 적은 비용으로 빠르고 정확한 전수조사가 가능하다는 장점이 있음

	<ul style="list-style-type: none"> - 분광분석은 비파괴분석법 중에 하나로 샘플의 물리 화학적 정보의 획득이 가능함. 이를 통해 채소작물의 식생 정보를 비파괴적으로 측정할 수 있다는 장점이 있음 - 다분광 및 초분광카메라는 기존의 분광분석기와 카메라가 융합된 장치로, 신속하게 넓은 구역의 대량의 대상의 물리 화학적 정보획득이 가능하다는 장점이 있음 - 드론은 기존의 플랫폼(인공위성, 비행기)의 비용 및 시간 소요의 단점을 보완을 유지한 방법으로 다양한 영상획득 장치의 장착이 가능하다는 장점이 있음 - 드론 + 초분광 카메라 시스템은 다양한 산업 드론 시장에서 주목받고 있는 플랫폼이며, 특히 농업 분야의 경우 많은 잠재력이 있음.
적용 분야	○ 농업 분야(채소, 과수 등의 작물), 산림 분야 등

제 1 장 서론

제 1 절 과제의 개요

1. 개발대상 기술개요

- 본 연구과제 “2019 노지작물과원 스마트영농 모델개발” 사업 중 “드론을 이용한 생육측정 사업”은 1개의 대학과(충남대학교), 1개의 기업(㈜경농)이 참여하여 작물의 생육정보 파악 및 작물의 생육정보 획득을 위한 시스템을 개발하였음
- 농업은 모든 산업의 근본이 되는 산업으로 식량 생산뿐만 아니라 여러 공익적 기능을 수행하는 중요한 산업임. 하지만 국내 농업시장의 경우 대부분 낙후되거나 재래식 방법에 의존하고 있으며 낮은 농업소득, 농산물 가격의 불안정, 고령화 및 시장개방 등으로 많은 불안감과 낮은 직업만족도를 나타내고 있음
- 채소류는 국민의 식생활에 빼놓을 수 없는 품목으로, 2017년 기준으로 20만 헥타르의 농지에서 47만 톤의 생산량을 기록하고 있음. 하지만 농업생산액의 경우 2011년 이후 정체 상황에 있으며, 국민의 채소소비량도 2011년 이후 모두 감소하고 있음. 이에 농가의 인력 및 시설의 노후화와 소득문제를 해결하기 위해서는 생육조사를 통한 상품의 품질개선 및 소득향상이 필수적임
- 기존의 식생지수를 조사방법은 인력, 비용 및 시간이 많이 소요되는 노동집약적인 방법임. 이러한 문제점으로 인해 전수조사가 아닌 샘플링을 통한 적은 수의 표본조사방법이 시행되고 있어 필드의 전체적인 상황을 파악하는데 어렵다는 단점이 있음
- 뿌리채소의 경우 중량, 구고, 인편수와 같은 뿌리 부분의 식생지수를 파악하는데 있어 과파적인 방법이 수행되고 있어 작물의 상품성이 훼손된다는 문제점이 있음. 또한, 병해충의 감염차단 및 지형적 특성과 같은 문제점들로 인해 기존의 방식으로 접근하는데 많은 문제점이 있음
- 이에 기존의 농가의 문제점 해소하고 농가소득의 증가를 위해 새로운 방법이 요구되고 있음. 현재 국내 농업시장의 경우 4차산업혁명을 맞아 현대 기술과 융합을 통한 새로운 방법들이 시도되고 있음. 농업기술에 적용 가능한 핵심기술의 개발은 장기적으로 정체된 농업시장의 개편뿐만 아니라 세계 4차 산업 시장에게도 진출이 가능한 핵심기술의 개발이 가능함
- 따라서 본 연구에서는 현재 농업의 추세에 맞추어 농업환경 개선을 위한 핵심기

술인 작물의 식생 정보 모니터링 및 품질과악을 위한 “드론을 이용한 작물의 식생 정보 판별 시스템 개발”을 수행하였음

- 초분광 및 다분광을 이용한 가시 및 근적외선 분광기술을 저고도 고해상도 무인 비행체 기술과 접목하여 채소류의 생육상태 모니터링, 생산량 예측이 가능한 시스템을 개발함



그림 1. 개발 대상 기술에 대한 연구개요

2. 모니터링 시장 현황

- 본 연구과제의 최종 목표인 드론과 분광 영상(초분광 + 다분광) 시스템을 이용하여 채소작물의 생육 정보의 모니터링 시스템 개발을 수행함. 이는 4차산업혁명에 맞추어 성장을 시도하는 농업 분야의 핵심기술로써, 농업의 불균형 현상을 해소하고 드론 시장의 경쟁력 제고를 위한 발판기술이 될 것으로 기대됨

Crop Monitoring Technology in Precision Farming Market- Growth Rate by Region (2019 - 2024)



그림 2. 국가별 작물 모니터링 시장의 성장률(Mordor Intelligence, 2019)

- 작물 모니터링 시장의 2020~2025년까지 연평균 12.6%로 성장할 것으로 예상하며 (Mordor Intelligence, 2019), 지리정보를 활용한 빅데이터의 활용이 증가함에 따라 작물 모니터링의 활용 또한 증가하고 있음. 또한 텔레메틱스(telematics)¹⁾ 기술의 발전으로 농업 분야의 활용연구가 활발히 이루어지고 있어 모니터링 시장의 확장에 박차를 가하고 있음
- 4차 혁명에 따라 정부주도의 농업 분야 육성주도와 기술발전에 따른 센서 가격의 하락으로 IT 기술과 농업 분야의 융합이 시장을 주도하고 있음. 미국, 일본, 유럽 등 많은 나라에서 농업과 ICT 및 IoT를 접목한 기술을 개발하고 있으며, 빅데이터 기술의 성장으로 생육 데이터를 수집, 분석한 내용을 실시간 공유하면서 농작물 생산성 향상 및 문제해결에 힘쓰고 있음
- 드론 시장의 급격한 성장(총 157조 원, 연평균 성장률 33.3%)으로 드론기술과 다른 기술과의 융합기술이 떠오르고 있음. 2020년 기준으로 전 세계 상업 드론 분야의 32.4%를 차지하며 두 번째로 높은 핵심분야로 자리매김하고 있으며, 작물

1) 텔레메틱스(telematics)는 무선통신과 GPS(Global Positioning system) 기술이 결합하여 사용자의 이동 플랫폼에서 위치 정보, 안전 운전, 제어, 금융 서비스, 예약 및 상품 구매 등의 다양한 이동통신 서비스 제공을 의미한다

모니터링 시장의 새로운 핵심기술로 떠오르고 있음



그림 3. 드론산업 핵심분야(PricewaterhouseCoopers, 2020)

- 이에 본 연구에서는 채소작물의 생육상태 모니터링 시스템 개발을 수행하였음. 이는 드론 및 모니터링 및 선별기 시장의 핵심기술로써 국내 농업시장의 성장과 세계시장의 진출을 위한 경쟁력이 될 것임

가. 모니터링 시장 진출방안

- 작물 모니터링의 경우 아직 시작 단계지만, 중국(DJI)과 미국(PrecisionHawk, Sentera, AGCO 등)시장이 앞서가고 있으며 국내의 경우는 없음. 또한 대부분의 제품이 NDVI와 같은 Vegetable Index를 이용한 분석법을 이용하고 있으며, 정밀도가 떨어지는 다분광 카메라 탑재 제품이 주를 이루고 있음
- 모니터링 시장의 경우 크게 2가지 방식으로 서비스를 제공하고 있음. 드론과 카메라가 장착된 시스템을 판매하는 방식 및 업체가 시스템을 이용하여 측정 및 분석결과를 제공하는 방식으로 나누어짐. 이중 업체가 직접 영상을 획득하고 분석서비스를 제공하는 형태의 서비스가 많은 점유율을 차지하고 있음. 이는 장비의 비용, 사용자들의 장비 및 소프트웨어 숙지 등으로 판단됨

- 본 기술을 이용한 모니터링 시장 접근 시 제작된 시스템을 판매하는 방식은 농민들에게 장비구매가격 및 기술의 숙달이 장벽으로 작용할 것으로 판단됨. 이에 **촬영 및 분광 영상의 분석서비스 제공을 통한 방식으로 접근하는 편이 추후 기술 활용 시 유리하게 작용할 것으로 판단됨**

표 1. 모니터링 영상획득 및 영상분석 서비스 제공 업체(2020년 기준)

Company	PRODUCT/SERVICE	Location
AGERpoint	Capture precise agriculture data using LiDAR enabled drones	United States
Agribotix (AgEagle)	Drone-enabled precision ag solutions	United States
Aerobotics	Early pest and disease detection solution guided by drone and satellite imagery	South Africa
Astro Digital	Global satellite imaging and analysis company. Uses nano satellites to capture images in visible and infrared spectrum	United States
Ceres Imaging	Data-as-a-service (growers pay by the acre) aerial spectral imagery company that uses low-flying planes	United States
Deveron	Drone data company focused on agriculture operating in Canada and the United States	Canada
Farm Shots (Syngenta)	Detects diseases, pests, and poor plant nutrition on farms by analyzing satellite and drone imagery	United States
Gamaya	A farming management solution using hyperspectral imaging and data analysis	Switzerland
Hummingbird	Artificial Intelligence business that provides advanced crop analytics to farmers	UK
Mavrx (Taranis)	Spatial analytics platform using UAVs, aircraft, and satellites to help growers maximize yields and reduce costs	United States
Tellus Labs (Indigo Ag)	Combines historic satellite imagery and machine learning to map and predict agriculture supply chain	United States

표 2. 모니터링 드론 및 센서의 주요 개발 업체(2020년 기준)

Company	PRODUCT/SERVICE	Location
AgEagle	Data acquisition drones for precision agriculture	United States
American Robotics	Drone developer specializing in agricultural automation	United States
DJI	Popular flying platforms, sensor packages and software for aerial crop surveying	China
PrecisionHawk	Drones, sensors and software for businesses to manage and monitor their assets	United States
Sensefly (Parrot)	Drones for collection and analysis of geospatial data including an aerial crop analysis system	Switzerland
Senterra	Precision ag drones, sensors and software	United States
Skycision	Solution for crop stress detection and analysis of agricultural operations using drones	United States

나. 경쟁 시장 분석을 통한 진출 방향

- 초분광 영상장치와 드론을 이용하여 모니터링 분석하는 업체의 경우 거의 없음. 스위스의 Gamaya의 경우 초분광을 이용하여 작물 모니터링 서비스를 제공하는 얼마 안 되는 업체 중 하나로 드론과 초분광을 이용하여 사용자의 작물 지의 분광 영상을 획득하고 분석결과를 제공함
- 시스템의 판매가 아닌 영상획득 및 분석서비스를 제공하고 있으며, 획득한 영상을 기계 학습을 통해 분석된 작물의 건강, 질병, 영양 상태를 분석하여 사용자에게 비료공급, 방제 등의 조언을 제공함



그림 4. 초분광과 드론을 이용한 작물 모니터링(Gamaya, Switzerland)

- 초분광 영상장치는 기존에 인공위성과 비행체를 이용한 모니터링이 이루어졌었음. 하지만 비용, 시간, 접근성 등의 한계로 인해 일반 사용자가 접하기에 많은 문제점이 있었음. 하지만 드론의 기술이 발전함에 따라 드론 융합산업으로 다시 한번 주목받으며 성장하고 있음. 초분광 영상장치의 신속하게 넓은 영역의 물리 화학적 분석이 가능하다는 장점과 손쉽게 원거리 촬영이 가능하다는 드론의 장점과 맞물려 높은 시너지의 창출이 가능함
- 기존 모니터링 센서의 경우 다분광이나 적은 밴드 수의 초분광(Gamaya, 40 bands)을 탑재하여, 측정 파장의 Resolution이 많이 떨어짐. 이는 표적의 물리 화학적 분석을 위한 정보획득에 치명적이며 낮은 정확도를 나타냄. 본 과제에 사용된 초분광 장비의 경우 270개의 밴드 영상의 획득이 가능하며(Resolution = 2.2 nm), 이를 이용하여 정밀한 모니터링 모델개발이 가능함
- 모니터링에 사용하던 분석법의 경우 Vegetation Index(식생지수)를 사용한 분석법이 주로 사용되고 있음. 하지만 이는 대중적인 방법으로, 대상의 정확한 건강 상태의 판별에 알맞지 않음. 이는 모니터링에 있어 대략적인 정보만 획득할 수

있으며 정밀한 건강상태의 판별을 위해서는 Chemometrics 분석법을 통한 모델 개발이 필수적인

- 본 연구는 초분광 카메라의 정밀하고 많은 정보량과(270 bands, 2.2 nm) Chemometrics 분석법을 이용하여 기존의 대중적인 분석법이 아닌, 특정 대상의 작물에 알맞은 모델을 개발하여 정밀농업에 알맞은 정확한 모니터링 정보의 제공이 가능함. 또한, 제작된 플랫폼에 다른 모델

제 2 장 과제수행의 내용 및 결과(기술개발 내용 및 방법)

제 1 절 최종 목표 및 평가방법

1. 최종 목표

- 채소작물의 생육상태 모니터링 및 수확량을 예측할 수 있는 정밀한 저고도 고해상도 무인 영상장치 개발
 - 초분광 영상 기반 다분광 영상을 통해 캐노피의 상태를 분석 판단하여 작물 영양 및 감염 상태 등을 실시간으로 확인할 수 있는 센싱기술 개발

2. 본 연구의 최종 연구내용

가. 채소작물의 생육상태 모니터링 및 수확량을 예측할 수 있는 정밀한 저고도 고해상도 무인 영상장치 개발 - 충남대학교

1) 작물의 생육모니터링 센싱기술 개발

가) 마늘 작물의 생육 정보 모니터링 센싱기술 개발

- ① 마늘 작물의 생육 정보 및 분광 촬영 장치
- 마늘 작물의 생육 정보를 파악하기 위해 마늘의 재배가 이루어지는 필드를 측정 하였음. 측정된 마늘 재배지는 대한민국 전라북도 부안군의 2곳의 필드에서 이루어졌음
- 측정은 5월 26일과 6월 1일에 이루어졌으며, 6월의 경우 작물의 수확 직전에 이루어짐. 생육 정보의 측정을 위해 다분광 카메라를 통한 분광 영상의 측정과 실측조사가 함께 이루어짐. 실험이 이루어진 장소의 자세한 정보는 아래와 같음



장소1 : 부안군 진서면 석포리 540-6
총면적 : 3,526 m² (1066평)



장소2 : 부안군 진서면 석포리 734
총면적 : 2,832 m² (856평)

그림 5. 마늘의 생육실험이 이루어진 장소의 상세정보

- 마늘의 분광 영상획득을 위해 드론과 다분광 영상 시스템을 이용하여 작물의 분광 영상을 획득하였음. 사용된 드론은 DJI사의 Matrice 200을 사용하였으며, 다분광 카메라의 경우 Micasence사의 Altum을 사용하였음. 드론 및 다분광 카메라의 자세한 스펙은 다음과 같음

표 3. 마늘의 분광영상 촬영에 사용된 드론(Matrice 200)의 스펙

크기	883×886×398 mm (펼쳐질 때, 프로펠러 및 랜딩 기어 포함) 722×247×242 mm (접었을 때, 프로펠러 및 랜딩 기어 제외)
대각선 축간거리	643 mm
무게	약 4.69 kg (TB55 배터리 2개 포함)
최대 이륙 무게	6.14 kg
최대 탑재 하중	1.45 kg
작동 주파수	2.4000~2.4835 GHz; 5.725~5.850 GHz
EIRP	2.4 GHz: ≤26 dBm (NCC/FCC); ≤20 dBm (CE/MIC); ≤20 dBm (SRRC) 5.8 GHz: ≤26 dBm (NCC/FCC); ≤14 dBm (CE); ≤26 dBm (SRRC)
호버링 정확도 (P 모드, GPS)	수직: ±0.5 m 또는 ±0.1 m (하향 비전 시스템 사용 시) 수평: ±1.5 m 또는 ±0.3 m, (하향 비전 시스템 사용 시)
최대 각속도	피치: 300 °/s, 요: 120 °/s
최대 피치각	S 모드: 35°; P 모드: 30° (전방 비전 시스템 작동 시: 25°); A 모드: 30°
최대 상승 속도	5 m/s
최대 하강 속도 (수직)	3 m/s
최대 속도	S 모드/A 모드: 81 km/h; P 모드: 61.2 km/h

최대 실용 상승 한계 고도 (해발)	3000 m (1760S 프로펠러 사용 시)
내풍 가능 최대 풍속	12 m/s
최대 비행 시간 (TB55 배터리 2개 탑재 시)	38분 (탑재 하중 없을 경우), 24분 (이륙 무게: 6.14 kg)
지원 DJI 짐벌	젠류즈 X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30
지원 짐벌 마운트	싱글 짐벌, 하향
방진방수(IP) 등급	IP43
GNSS	GPS+GLONASS
작동 온도	-20~50 °C

표 4. 마늘의 분광영상 촬영에 사용된 다분광카메라(Altum)의 스펙

Weight	Altum + DLS 2: 406.5 g (14.34 oz), Altum: 357 g (12.6 oz), DLS2: 49 g (1.73 oz), Wi-Fi Adapter: 2 g (0.07 oz), USB stick: 9 g (0.32 oz)
Dimensions	8.2 cm x 6.7 cm x 6.45 cm (3.2 in x 2.6 in x 2.5 in)
External Power	4.9 - 25.2 V
Power Input	5.5/7.0/10W (standby, average, peak)
Spectral Bands	Blue, green, red, red edge, near infrared (NIR)
Wavelength (nm)	Blue (475 nm center, 32 nm bandwidth), green (560 nm center, 27 nm bandwidth), red (668 nm center, 14 nm bandwidth), red edge (717 nm center, 12 nm bandwidth), near-IR (842 nm center, 57 nm bandwidth)
RGB Color Output	High-resolution, global shutter, aligned with all bands
Thermal	LWIR thermal infrared 8-14um. Radiometrically calibrated
Sensor Resolution	2064 x 1544 (3.2 MP per EO band) at 120m (400ft) AGL 81cm per pixel (thermal) at 120m
Ground Sample Distance (GSD):	5.2 cm per pixel (per EO band) at 120 m (~400 ft) AGL 81 cm per pixel (thermal) at 120 m
Capture Rate	1 capture per second (all bands), 12-bit RAW
Interfaces	Aircraft: Trigger input, top of frame out, 1 PPS out. 3.3V isolated IO 2x USB 3.0 SuperSpeed ports for WiFi or Ethernet and USB 3.0 Storage
Field of View	48° x 37° (multispectral) 57° x 44° (thermal)
Focal Length	8 mm (multispectral) 1.77 mm (thermal)
Storage	USB 3.0 compatible storage devices

○ 생육 정보의 과학을 위한 모델개발을 위해 2개의 마늘경 작지에서 실측조사가 수행

되었음. 실측조사를 위해 경작지별로 5개의 샘플구역(5m²)을 지정하여 구역별로 샘플링을 시행하였음. 샘플구역의 경우 경작지의 정확한 표본조사를 위해 구역별로 일정 거리를 두어 지정되었으며, 구역별로 10주씩 샘플링을 시행하였음. 구역별로 측정된 식생 정보의 경우 평균값을 이용하여 분석에 사용하였으며, 측정된 구역별 측정값은 다음과 같음

표 5. 측정된 첫 번째 마늘경작지의 생육 정보

	초장	엽색	구중	구고	구폭	인편수	둘레
구역1	70.9	66.5	63.1	48.2	56	6.9	350.7
구역2	76.3	71.3	54.7	45	52.9	6.9	459.8
구역3	78.6	68.5	61.6	51.3	53.4	8.6	337.8
구역4	77.2	68.7	67.2	51.1	54.8	7	348.8
구역5	82	65.6	63.1	49.4	54.8	8.2	345.4
평균	77	68.1	61.9	49	54.4	7.5	368.5
분산	16.5	4.8	20.6	6.7	1.6	0.7	262.9
표준편차	4.1	2.2	4.5	2.6	1.2	0.8	51.3

표 6. 측정된 두 번째 마늘경작지의 생육 정보

	초장	엽색	구중	구고	구폭	인편수	둘레
구역1	66.1	70.3	69.8	47	56.1	8	364.2
구역2	67.7	63.2	67.9	44.7	55.7	7.5	363.6
구역3	71.3	62.5	71.1	44.6	56.5	8.3	365.9
구역4	79.5	64.7	70	45.2	55.5	8.1	364.8
구역5	74.8	64	68.9	45.3	55.2	7.7	360.2
평균	71.8	65	69.5	45.4	55.8	7.9	363.7
분산	29.2	9.8	1.4	0.9	0.2	0.1	4.7
표준편차	5.4	3.1	1.2	1	0.5	0.3	2.2

- 측정된 생육 정보는 초장, 엽색, 구중, 구고, 구폭, 인편수, 둘레가 측정되었음. 생육 정보들은 경상남도 농업기술원을 통해 정보를 얻어 진행되었음. 초장의 경우 지면에서부터 주중 최장엽 끝까지의 생존 부위를 측정하였음. 또한, 구중, 구고, 구폭, 인편수의 경우 샘플 채취 후 저울과 자를 이용하여 수확 후 바로 측정하였음
- 엽색의 경우 잎의 엽록소 측정이 가능한 SPAD-502Plus(MINOLTA, Japan)을 사용하여 측정하였음. 엽색은 엽록소의 색깔에 따라 정해지기 때문에 SPAD를 통해 엽색의 측정이 가능함. 엽록소 미터는 잎의 클로로필 양을 계산하여 전체수치의

백분율 수치로 계산되며, 본 실험에서는 주중 최장엽의 3곳을 측정하여 평균값을 구하였음.



그림 6. 엽록소 미터(SPAD-502)

② 분광 영상과 생육 정보 분석

- 식생지수

- 식생지수(Vegetation Index)는 과장대에 따른 반사특성에 기초를 두고 분광 대간의 특성을 조합하여 식생의 분포 면적, 나무 높이, 수종, 건강상태 등을 양적으로 나타낼 수 있는 척도로 개발된 관측식임. 이는 적은 채널 수의 다분광 카메라를 이용해 건강상태를 모니터링 하는데 유용한 방식으로, 몇 가지 적은 밴드수의 조합에 의해 생성할 수 있음
- 이는 생육 정보뿐만 아니라, 작물의 건강상태(수분, 영양) 판단이 가능하므로 건강상태의 모니터링이 가능함. 아래의 그림 9의 건강상태 영상의 경우 경작지의 아래쪽의 오른쪽 부분의 경우 작물의 건강상태가 전체적으로 떨어지는 것을 확인할 수 있음. 이를 이용하여 정밀지역의 맞춤 시비를 통해 건강상태 및 수확량의 증가가 가능함
- 아래 그림은 일반적인 식생지수의 계산원리를 나타낸 것으로 녹색 식물의 건강상태에 따른 RGB 영역과 NIR 영역의 반사율을 나타낸 것으로 앞에 있는 Chlorophyll, protochlorophyll, Xanthophyll 등으로 인해 건강상태에 따라 반사도가 변화하는 양상을 나타냄

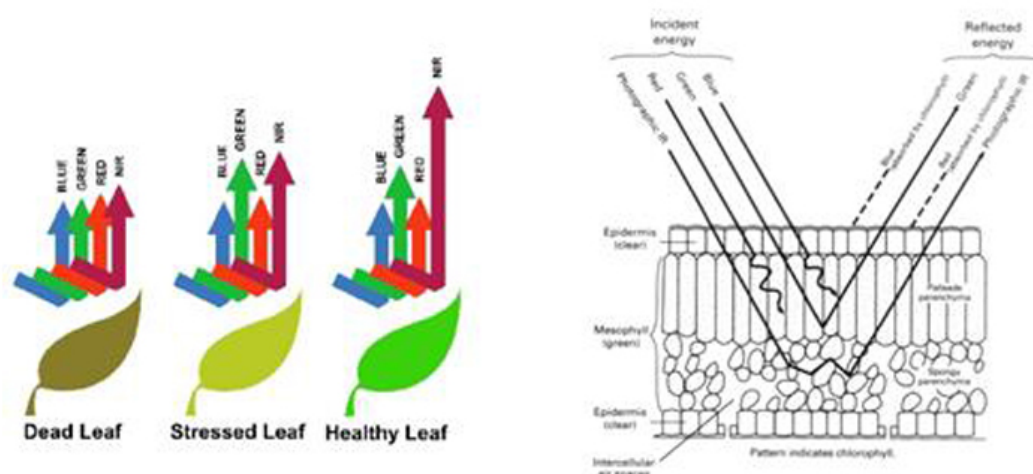


그림 7 작물의 건강상태에 따른 파장별 반사율 차이

- 식생지수는 식생 분류, 토양분류, 엽록소 함유량, 식물 생물량, 흡수 광합성 유효 복사, 수분 함유량처럼 다양한 용도로 원격탐사 영상에 많이 사용되며, 식물의 건강상태, 엽록소 함유량 및 생물량 등의 객관적인 지표로 표현할 수 있음. 이는 모든 식물 종의 생물 물리적 정보를 제공하지만, 고유의 특정 종의 생물 물리적 정보의 세세한 정보를 제공하는 경우는 적음

표 7. 주요 원격탐사 식생지수

식생지수	관계식	사용용도
NDVI	$(\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$	식생 분류, 건강확인
NDRE	$(\rho_{nir} - \rho_{rededge}) / (\rho_{nir} + \rho_{rededge})$	엽록소 측정
GNDVI	$(\rho_{nir} - \rho_{green}) / (\rho_{nir} + \rho_{green})$	식생 분류, 건강확인
GRVI	$(\rho_{green} - \rho_{red}) / (\rho_{green} + \rho_{red})$	식생 분류, 바이오매스
FDI	$\rho_{800} - (\rho_{714} + \rho_{445})$	산림(식생) 분류
RedEdge ratio	ρ_{nir} / ρ_{red}	엽록소 측정
NVI	$2.5x(\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + 6x\rho_{red} - 7.5x\rho_{blue} + 1)$	식생 분류, 건강확인
PRI	$(\rho_{green} - \rho_{yellow}) / (\rho_{green} + \rho_{yellow})$	엽록소 측정
WBI	ρ_{900} / ρ_{970}	수분 측정
MCARI	$(\rho_{nir} - \rho_{red}) \times (0.23x\rho_{nir} + \rho_{yellow}) \times \rho_{nir} \times \rho_{red}$	엽록소 측정

- 본 실험에 사용된 식생지수는 4종류의 식생지수(NDVI, NDRE, GNDVI, GRVI)를 사용하였음. 이 식생지수들은 다분광 파장을 통해 계산될 수 있는 식생지수이며, 생육 정보들을 파악하기 위해 사용되었음
- 식생지수는 작물의 건강상태 및 엽록소 등을 객관적인 지표로 표현할 수 있음. 또한, 식생 분류 및 바이오매스와 같은 지표들의 확인할 때도 많이 사용되고 있음. 아래의 그림은 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태, 엽록소 및 식생 분류를 표현한 그림으로 식생지수들의 값이 비쌀수록 작물의 건강상태 및 엽록소가 높음

- 이에 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태 및 엽록소 정보와 생육 정보 간의 상관관계를 비교하고자 하였음. 식생지수별 경작지의 이미지는 아래와 같으며 분석결과는 아래와 같음

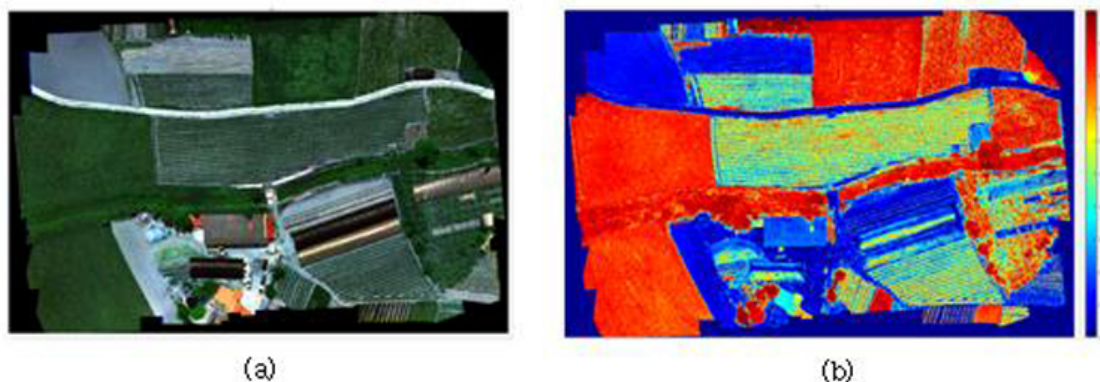


그림 8. 드론 획득 영상을 이용해 변환된 RGB 컬러 영상과 NDVI 식생 영상

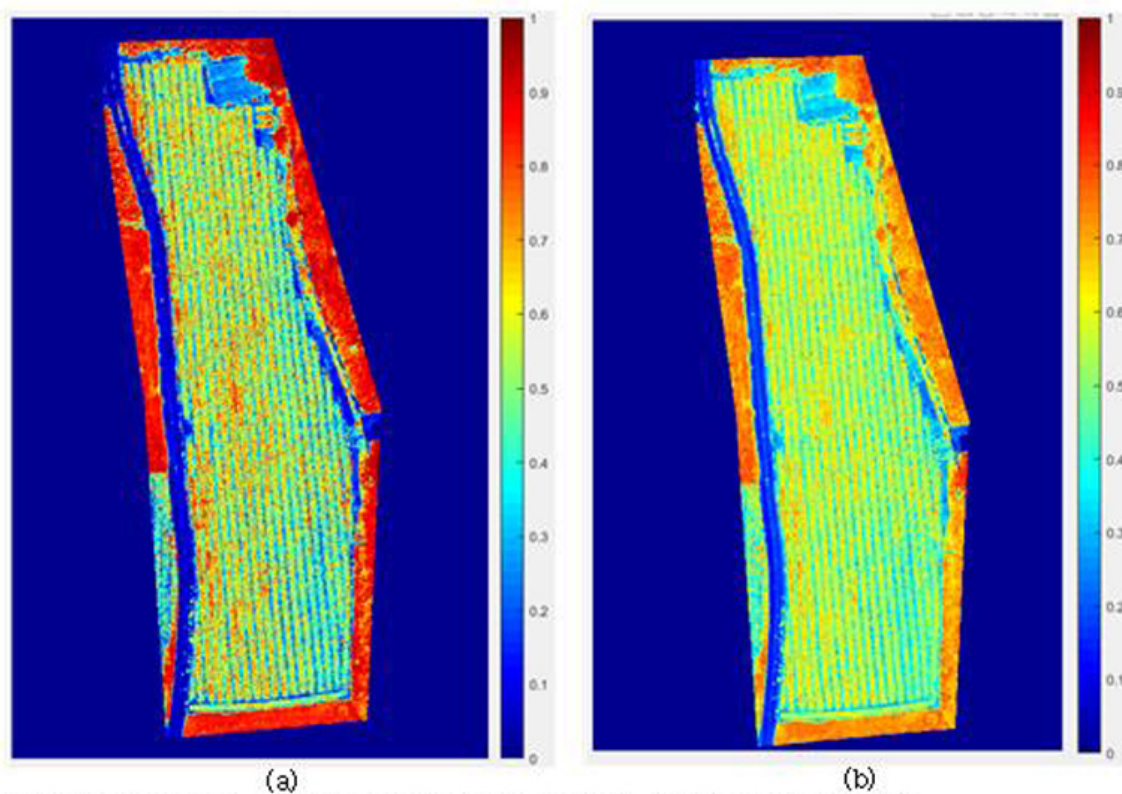


그림 9 식생지수를 이용한 작물의 건강상태 결과. (a) NDVI, (b), GNDVI

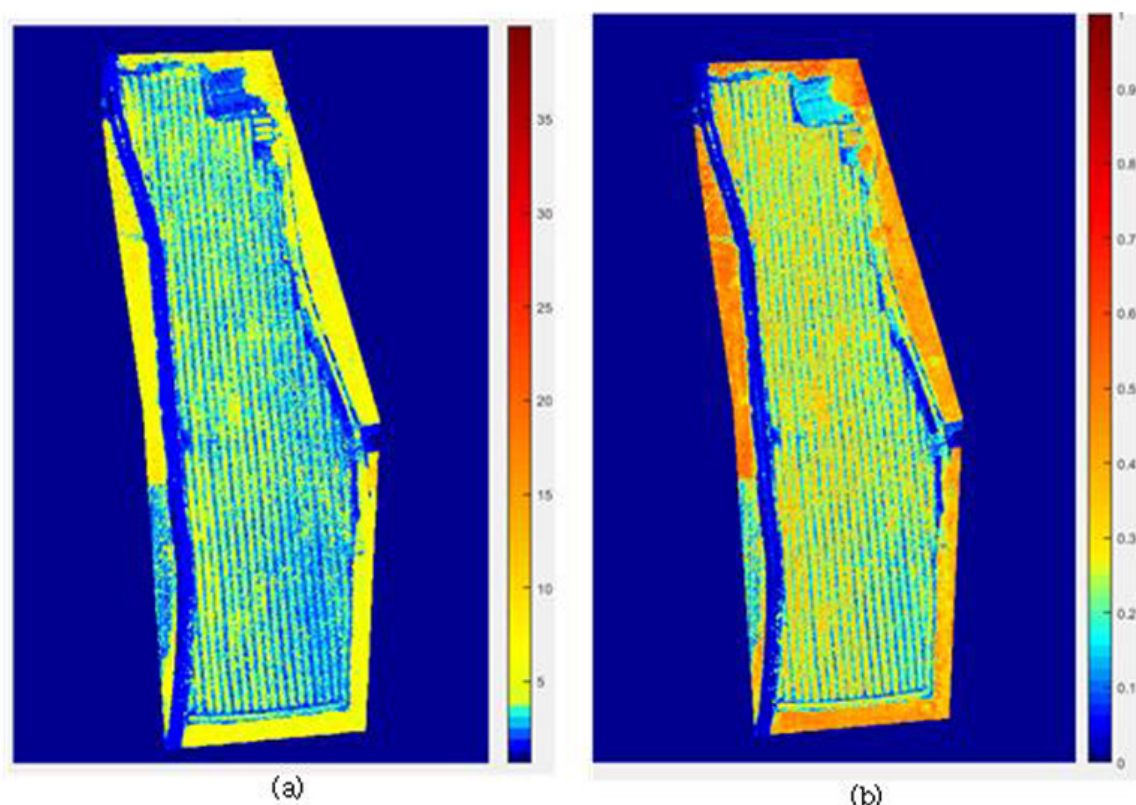


그림 10. 식생지수를 이용한 건강상태 및 식생 분류 결과. (a) GRVI, (b), NDRE

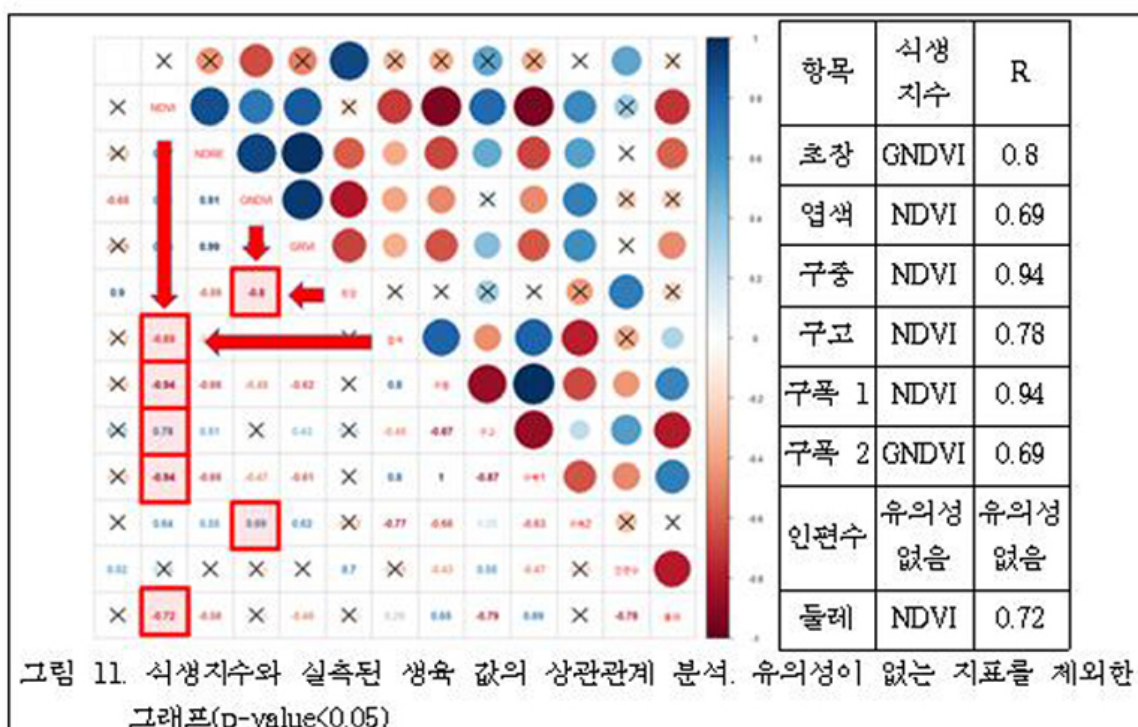


그림 11. 식생지수와 실측된 생육 값의 상관관계 분석. 유의성이 없는 지표를 제외한 그래프(p-value<0.05)

○ 획득된 식생지수(VI)와 생육 정보 간의 상관관계를 파악하였음. 식물의 건강상태가 생육 정보에 미치는 영향을 파악하기 위해 각각의 작물영역의 식생지수 영상

을 추출하여 생육 정보 간의 상관관계 분석을 시행하였음. 정확도는 R로 표시하였으며, 유의성이 없는($p\text{-value} < 0.05$) 결과의 경우 제거하였음

- 분석의 지표로 사용된 R 값의 경우 두 변수의 상관관계의 크기를 정량화시킨 값으로 1에 가까울수록 식생지수와 지표 간의 상관 계수가 높다고 할 수 있음. 1~0.7의 경우 매우 강한 상관관계를 가지며 0.7~0.3의 경우 강한 상관관계를 나타냄. 0.3~0.1의 경우 약한 상관관계를 나타낸다고 볼 수 있음
- 위의 상관관계의 그래프의 확인 경우 다음과 같음. 그래프의 항목은 계산된 식생지수와 생육 정보들로 구성되어 있음. 분석값의 경우 식생축과 생육 정보 축과 만나는 점들이 상관 계수의 값임. 위의 그림에서는 만나는 점들을 모두 확인하여 식생지수별로 생육 정보와 가장 높은 관계성을 갖는 식생지수를 찾아 명시하였음
- 분석결과 구중이 0.94의 관계성을 나타내었으며, 구폭 또한 0.94로 높은 관계성을 나타내었음. 또한, 둘레의 경우 0.72로 비교적 높은 관계성을 나타내었으며, 엽색의 경우 0.69의 관계성을 나타내었음
- 높은 관계성을 나타낸 식생지수는 식물의 건강상태 파악에 사용되는 NDVI와 GNDVI가 가장 높은 값을 나타내었음. 이는 작물의 질소함량이나 엽록소와 같은 작물의 건강상태가 결과에 영향을 끼친 것으로 나타남. 마늘의 인편수의 경우 적은 유의성을 나타내 추가적인 자료 수집이 필요할 것으로 판단됨

나) 배추 작물의 생육 정보 모니터링 센싱기술 개발

① 배추 작물의 생육 정보 및 분광 촬영 장치

- 배추 작물의 생육 정보를 파악하기 위해 배추의 재배가 이루어지는 필드를 측정하였음. 측정된 배추 재배지는 대한민국 강원도의 태백 2곳의 필드에서 이루어졌음. 작물의 생육 사이클에 따른 데이터를 측정하기 위해 과종 시기(경작지 1 : 과종 후 7일, 경작지 2 : 과종 후 30일)가 다른 두 밭을 선정하였음. 측정은 7월 21과 8월 11일에 이루어졌음
- 7월 21일의 경우 분광 영상 및 생육 정보를 획득하였으나, 8월 11일의 경우 농가의 조기 수확 및 재배지접근의 거부로 인해 데이터의 획득은 수행하지 못함. 생육 정보의 측정을 위해 초분광 카메라 및 다분광 카메라를 통한 분광 영상의 측정과 실측조사가 함께 이루어짐. 실험이 이루어진 장소의 자세한 정보는 아래와 같음



장소1 : 강원도 태백시 화전동 322-11, 12
총면적 : 21,090 m² (6370평)

장소2 : 강원도 태백시 상사미동 51, 52
총면적 : 2,832 m² (4702평)

그림 12. 배추의 생육실험이 이루어진 장소의 상세정보

- 마늘의 분광 영상획득을 위해 드론과 분광 영상 시스템을 이용하여 작물의 분광 영상을 획득하였음. 다분광 영상에 사용된 드론은 DJI사의 Matrice 200을 사용하였으며, 다분광 카메라의 경우 Micasense사의 Altum을 사용하였음. 자세한 스펙은 표 3, 4와 같음. 초분광 영상에 사용된 드론은 DJI사의 Matrice 600 pro를 사용하였으며, 초분광 카메라의 경우 Headwall사의 nano-hyperspec을 사용하였음. 자세한 스펙은 아래와 같음

표 8. Matrice 600 pro의 제원표

Aircraft	
Structure	
Diagonal Wheelbase	1133 mm
Dimensions	1668 mm × 1518 mm × 727 mm with propellers, frame arms and GPS mount unfolded (including landing gear) 437 mm × 402 mm × 553 mm with propellers, frame arms and GPS mount folded (excluding landing gear)
Package Dimensions	520 mm × 480 mm × 640 mm (L × W × H)
Intelligent Flight Battery Quantity	6
Weight (with six TB47S batteries)	9.5 kg
Weight (with six TB48S batteries)	10 kg
Max Takeoff Weight	15.5 kg
Performance	
Hovering Accuracy (P-mode with GPS)	Vertical: ±0.5 m Horizontal: ±1.5 m
Max Angular Velocity	Pitch: 300° /s, Yaw: 150° /s
Max Pitch Angle	25°
Max Speed of Ascent	5 m/s
Max Speed of Descent	3 m/s
Max Wind Resistance	8 m/s
Max Service Ceiling Above Sea Level	2500 m
Max Speed	40 mph / 65 kph (no wind)
Hovering Time* (with six TB47S batteries)	No payload: 32 min, 6 kg payload: 16 min
Hovering Time* (with six TB48S batteries)	No payload: 38 min, 5.5 kg payload: 18 min
Propulsion System	
Motor Model	DJI 6010
Propeller Model	DJI 2170R
Flight Control System	
Model	A3 Pro
Other	
Supported DJI Gimbals	Ronin-MX; Zennuse Z30, Zennuse X5/X5R, Zennuse X3, Zennuse XT; Zennuse Z15 Series HD Gimbal: Z15-A7, Z15-BMPOC, Z15-5D III, Z15-GH4
Retractable Landing Gear	Standard
Operating Temperature	14° to 104° F (-10° to 40° C)

표 9. 초분광 카메라의 제원표

Spatial Bands	640
Spectral Bands	270
Frame Rate (maximum, Hz)	350
Dispersion per Pixel (nm/pixel)	2.2
FWHM Slit Image (nm)	6
Lens	17mm standard (4.8mm, 8mm, 12mm, 35mm also available)
Storage	480GB (approximately 130 minutes and 100fps)
Interface	Gigabit Ethernet
Size (exclusive of GPS)	76.2mm x 76.2mm x 119.9mm
Weight (without lens)	< 0.52kg

- 생육정보의 파악을 위한 모델개발을 위해 2개의 배추 경작지에서 실측조사가 수행되었음. 실측조사를 위해 경작지별로 5개의 샘플구역(5m²)을 지정하여 구역별로 샘플링을 시행하였음
- 샘플구역의 경우 경작지의 정확한 표본조사를 위해 구역별로 일정 거리를 두어 지정되었으며, 구역별로 27~37주씩 샘플링을 시행하였음. 첫 번째 경작지의 경우 총 137개의 샘플이 측정되었으며, 두 번째 경작지의 경우 184개의 샘플을 측정하였음. 측정된 구역별 측정값은 다음과 같음

표 10. 측정된 첫 번째 배추 경작지의 생육 정보

	엽장(cm)	엽색(SPAD)	엽폭(cm)
구역1	9.81	45.07	7.22
구역2	8.73	49.05	8.81
구역3	9.67	49.92	7.09
구역4	10.03	48.26	7.25
구역5	9.46	46.91	6.81
평균	9.54	47.84	7.44
분산	0.25	3.63	0.62
표준편차	0.5	1.9	0.79

표 11. 측정된 두 번째 배추 경작지의 생육 정보

	엽장(cm)	엽색	엽폭(cm)
구역1	25.85	72.02	19.04
구역2	23.6	66.86	22

구역3	27.27	66.75	18.96
구역4	26.62	66.61	18.52
구역5	32.89	65.63	22.04
평균	27.25	67.57	20.11
분산	11.88	6.41	3.07
표준편차	3.45	2.53	1.75

- 측정된 생육 정보는 엽장, 엽색, 엽폭이 측정되었음. 생육 정보들은 농사로 농업 기술 포털을 통해 정보를 얻어 진행되었음. 엽장의 경우 주중 최장엽의 가장 긴 부분의 길이를 측정하였으며 엽폭 또한 주중 최장엽의 가장 넓은 부분의 길이를 측정하였음. 엽색의 경우 잎의 엽록소 측정이 가능한 SPAD-502Plus(MINOLTA, Japan)을 사용하여 주중 최장엽의 3곳을 측정하여 평균값을 구하였음

② 분광 영상과 생육 정보 분석

- 카메라 캘리브레이션

- 구축된 무인기 초분광 영상 감시 시스템을 이용한 측정 시, 대기, 지형 혹은 고도에 따른 광량의 영향을 줄이고 원격탐사에서 발생하는 내부오차와 외부오차를 제거하기 위해 영상 보정작업을 시행해야 함. 카메라 Calibration을 위해 비행 전 지상에서의 실제 분광 반사도를 측정하였으며, 비행 영상의 Calibration을 위해 기준점과 일정한 반사율을 지닌 보정 방수천을 같이 측정하였음
- 식생으로부터 엽장, 엽폭과 같은 생육 정보 추출하고자 할 때 대기 보정은 필수적임. 대기 보정이 안 된 경우에는 중요성분에 대한 반사도 차이를 알 수 없게 됨. 원격탐사 자료를 대기 바로잡는 방법은 여러 가지가 있는데, 크게 절대 대기 보정과 상대 대기 보정 두 종류의 대기 보정으로 나눌 수 있음
- 절대 대기 보정은 시스템에서 기록된 밝기값을 비율표면 반사도로 바꾸는 것으로, 변환된 값은 다른 지역에서의 비율표면 반사도와 함께 비교하거나 사용할 수 있음. 하지만 센서의 분광 프로 파일과 대기 속성을 동시에 알아야 한다는 단점이 있어 두 가지 값을 모두 알지 못하면 사용할 수 없다는 단점이 있음
- 상대 대기 보정은 분광 프로 파일과 대기 속성에 관한 정보가 모두 없을 때 주로 사용되며, 두 가지 자료 모두 수집이 불가능할 때 사용할 수 있다는 장점이 있음. 보통 가시광선 영역에서 수집된 자료는 대기산란 효과가 크기 때문에 최소 밝기 값이 증가하게 됨. 반대로 대기흡수는 긴 파장 영역에서는 기록된 밝기 값을 감소하는 현상이 발생함. 이러한 밝기값을 표준 대상물의 히스토그램 밝기

값을 평가하여 바로잡게 됨

- 본 연구에서는 절대 대기 보정 방법 중 경험적 선형보정 기법을 이용하여 수행하였음. 이는 실제 분광 반사도 측정값과 원격탐사 영상을 비교하는 방법으로 다음 방정식에 기초함(Smith and Milton, 1999; ImSpec, 2014)

$$BV_k = \rho_\lambda A_k + B_k$$

where, ρ_λ : 특정 파장에서 순간 시야각 내의 비율표면 반사도

BV_k : 밴드 k에서의 화소의 밝기값

A_k : 이득 항(대기 투과도와 기기 계수)

B_k : 편위상(대기 경로, 방사도 및 기기 절편)



그림 13. 대기 보정을 위한 스펙트럼 측정, (A) 현장 분광복사에 보정, (B) 조정대상물

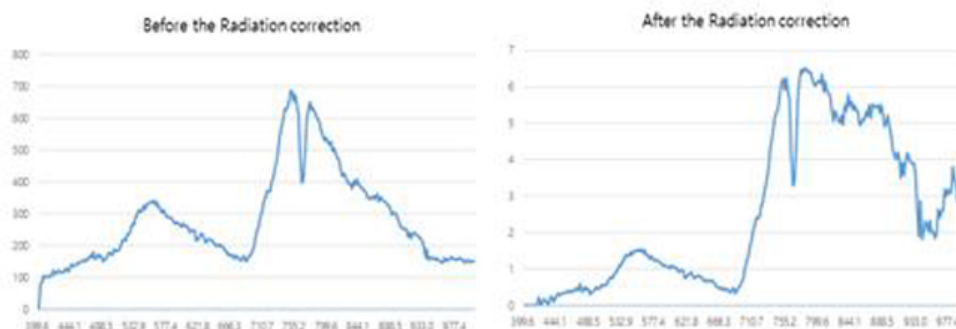


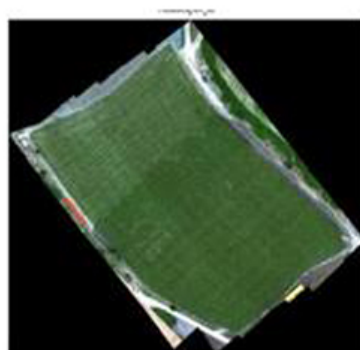
그림 14. 방사 보정 전 작물의 스펙트럼과 방사 보정 후 작물의 스펙트럼

- 식생지수(Vegetation Index)

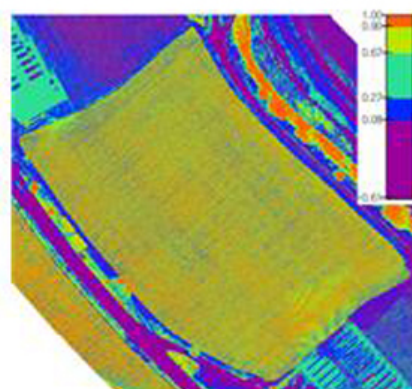
- 본 실험에 사용된 식생지수는 다분광 영상을 통해 분석되었으며, 4종류의 식생지수(NDVI, NDRE, GNDVI, GRVI)를 사용하였음. 이 식생지수들은 다분광 파장을

통해 계산될 수 있는 식생지수이며, 생육 정보들을 파악하기 위해 사용되었음

- 이는 생육 정보뿐만 아니라, 작물의 건강상태(수분, 영양) 판단이 가능하므로 건강상태의 모니터링이 가능함. 아래의 그림 15의 건강상태 영상의 경우 경작지의 왼쪽, 중앙, 오른쪽을 제외한 부분의 작물의 건강상태가 전체적으로 떨어지는 것을 확인할 수 있음. 식물의 재배면적이 밀집되어 있으므로 확대 영상을 확인하면 작물별 건강상태의 확인이 가능함. 이를 이용하여 정밀지역의 맞춤 시비를 통해 건강상태 및 수확량의 증가가 가능함
- 식생지수는 작물의 건강상태 및 엽록소 등을 객관적인 지표로 표현할 수 있음. 또한, 식생 분류 및 바이오매스와 같은 지표들의 확인할 때도 많이 사용되고 있음. 아래의 그림은 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태, 엽록소 및 식생 분류를 표현한 그림으로 식생지수들의 값이 비쌀수록 작물의 건강상태 및 엽록소가 높음
- 이에 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태 및 엽록소 정보와 생육 정보 간의 상관관계를 비교하고자 하였음. 식생지수별 경작지의 이미지는 아래와 같으며 분석결과는 아래와 같음



(a)



(b)

그림 15. 드론 획득 영상을 이용한 RGB 컬러 영상과 NDVI 식생 영상

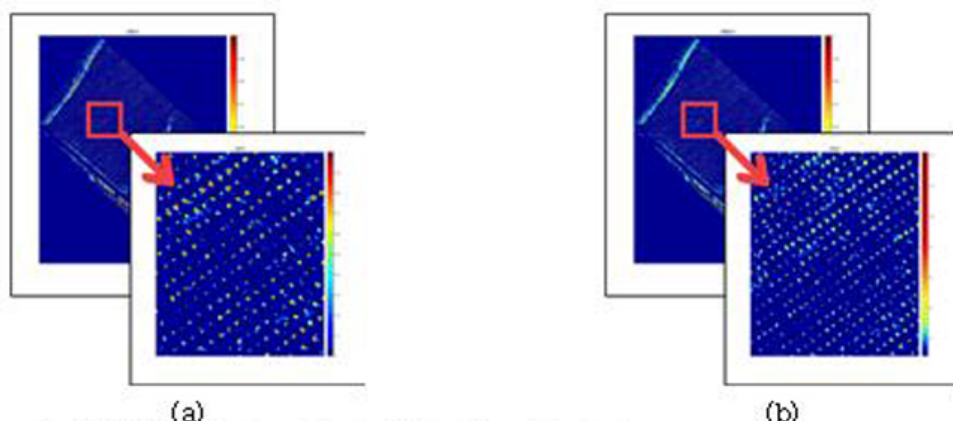


그림 16. 식생지수를 이용한 작물의 건강상태 영상분석(Field 1). (a) NDVI, (b), GNDVI

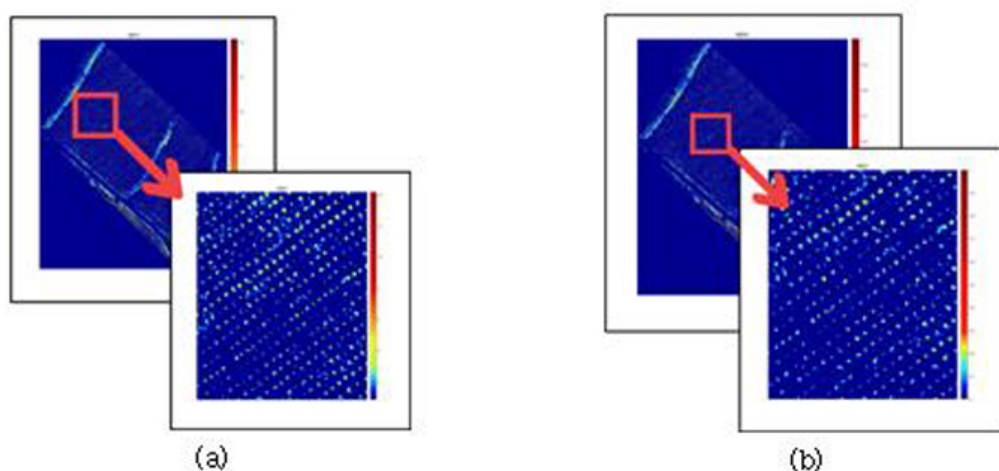


그림 17. 식생지수를 이용한 건강상태 및 식생 분류 영상분석(Field 1). (a) GRVI, (b), NDRE

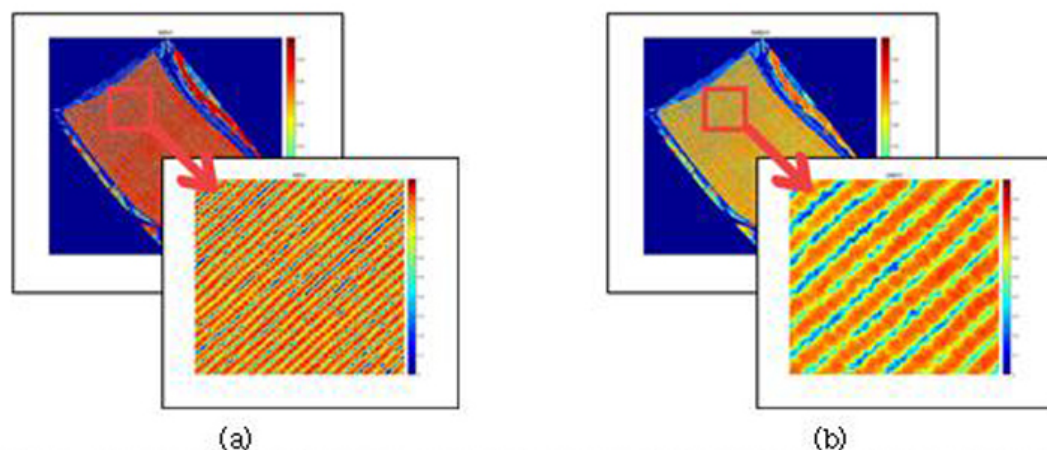


그림 16. 식생지수를 이용한 작물의 건강상태 영상분석(Field 2). (a) NDVI, (b), GNDVI

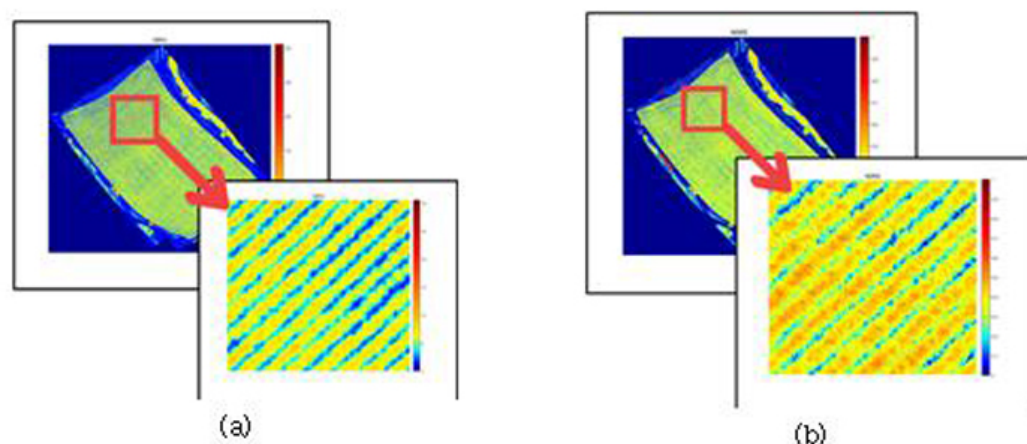
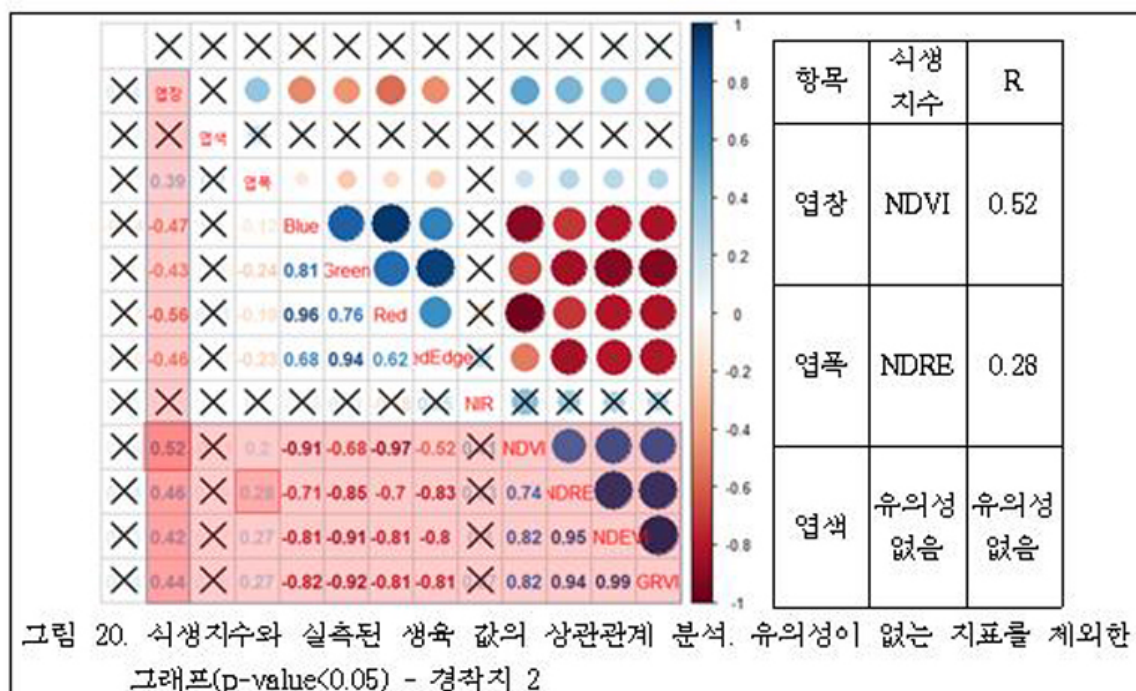
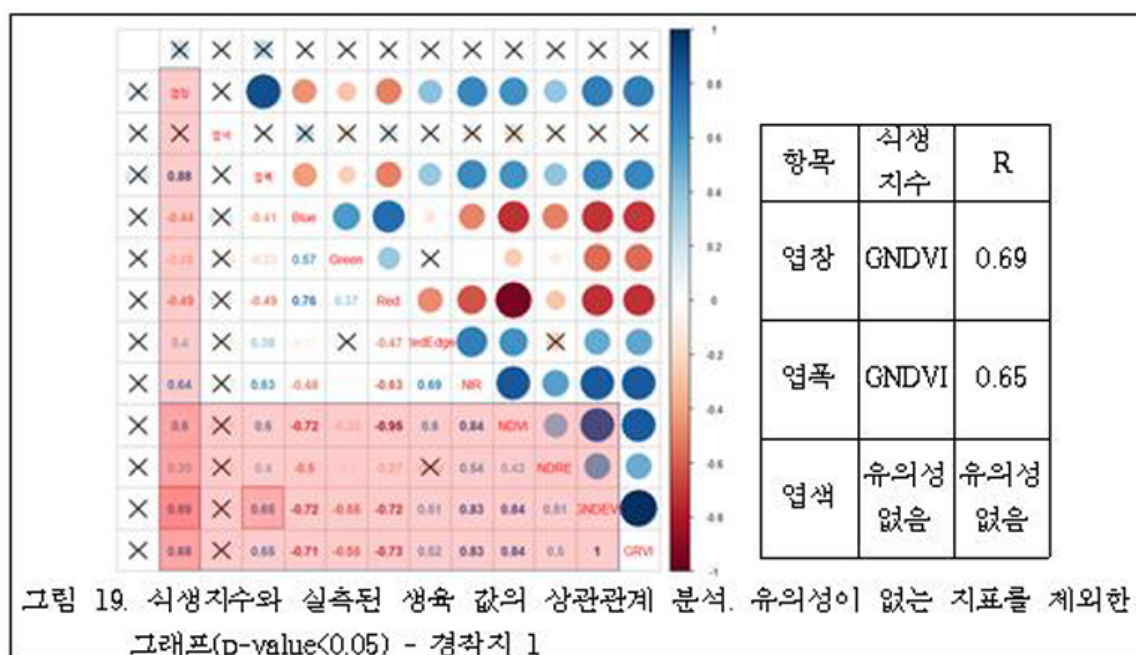


그림 18. 식생지수를 이용한 건강상태 및 식생 분류 영상분석(Field 2). (a) GRVI, (b) NDRE

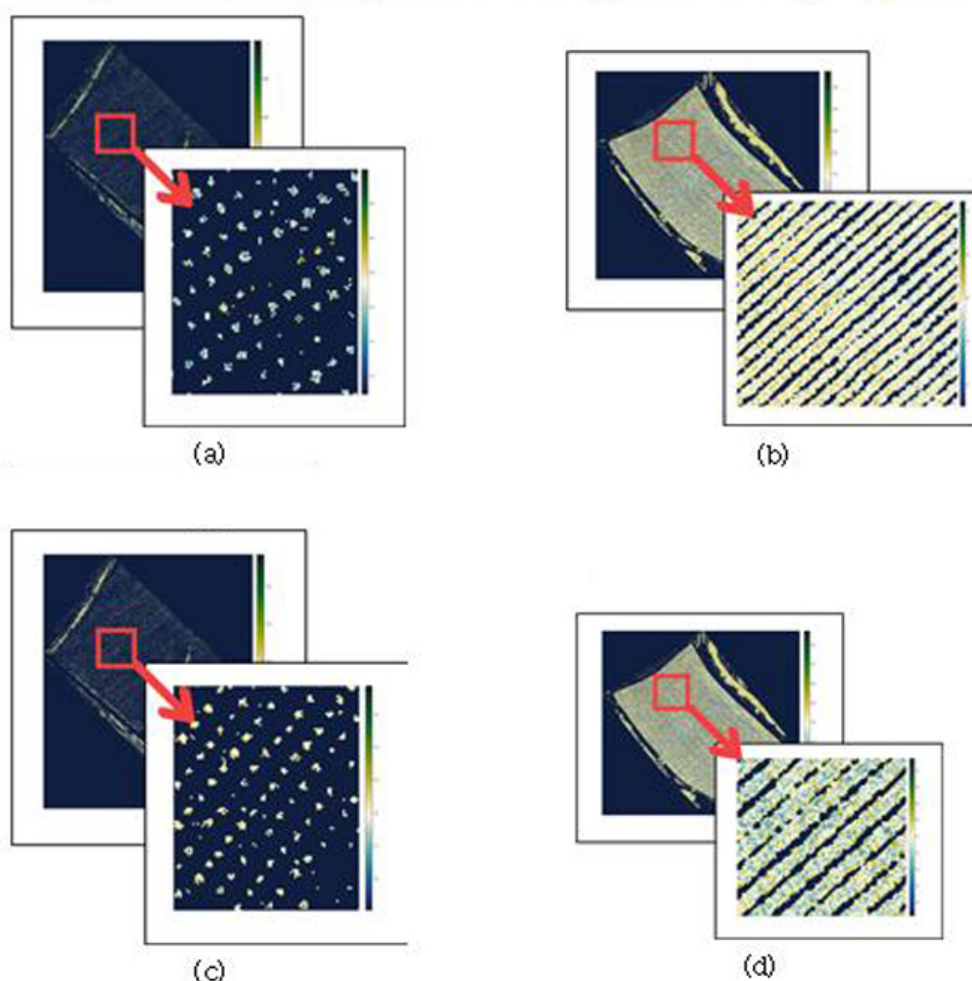
- 획득된 식생지수(VI)와 생육 정보 간의 상관관계를 파악하였음. 식물의 건강상태가 생육 정보에 미치는 영향을 파악하기 위해 각각의 작물영역의 식생지수 영상을 추출하여 생육 정보 간의 상관관계 분석하였음. 정확도는 R로 표시하였으며, 유의성이 없는(p-value < 0.05) 결과의 경우 제거하였음
- 분석의 지표로 사용된 R 값의 경우 두 변수의 상관관계의 크기를 정량화시킨 값으로 1에 가까울수록 식생지수와 지표 간의 상관 계수가 높다고 할 수 있음. 1~0.7의 경우 매우 강한 상관관계를 가지며 0.7~0.3의 경우 강한 상관관계를 나타냄. 0.3~0.1의 경우 약한 상관관계를 나타낸다고 볼 수 있음
- 아래의 상관관계의 그래프의 확인 경우 다음과 같음. 그래프의 항목은 계산된 식생지수와 생육 정보들로 구성되어 있음. 분석값의 경우 식생측 생육 정보 축과 만나는 점들이 상관 계수의 값임
- 아래의 그림 19, 20의 경우 이해를 도우려고 붉은색 박스로 표시를 진행하였음. 업장의 항목과 식생지수들과의 관계의 영역이 표시되었으며 이중 GNDVI 및 NDVI의 항목이 가장 높은 연관성을 가진 것을 확인하였음. 이처럼 아래의 그림에서는 만나는 점들을 모두 확인하여 식생지수별로 생육 정보와 가장 높은 관계성을 갖는 식생지수를 찾아 명시하였음
- 분석결과 경작지 1의 경우 업장이 0.69의 관계성(R)을 나타내었으며, 구폭 또한 0.65로 비교적 높은 관계성을 나타내었음. 경작지 2의 경우 업장이 0.52의 관계성을 나타내었으며, 구폭 또한 0.28의 관계성을 나타내었음.



- Chemometrics Analysis

- Chemometrics 분석법은 분석화학은 한 분야로 적외선 분광 데이터를 통해 얻은 데이터로부터 수학적 모델을 통하여 중요한 화학적 정보를 추출하는 방법임. 이는 기존의 Chromatograph와 같은 기존의 과파적이고 시간과 비용이 많이 소요되는 분석방법에 비해 비파괴적이고 시간과 비용이 절약된다는 장점이 있음

- 분광법에 따라 획득된 스펙트럼은 스펙트럼의 중첩 및 수많은 파장의 정보 등으로 인해 해석이 어렵다는 단점이 있음. Chemometrics 분석법은 이러한 분광법의 단점을 극복하기 위해 개발된 방법으로 산업체, 농축산물의 품질평가, 식품 가공, 재료산업, 정유 산업, 생명과학, 의학 및 제약 분야 등 전 분야에 걸쳐 응용되고 있음
- 본 연구에 사용된 분석은 Chemometrics 분석법 중 하나인 주성분 분석(PCA)을 사용하였음. 주성분 분석은 원래의 원격탐사 영상을 매우 작고 이해하기 쉬우며 원영상에 있는 대부분 정보를 나타내는 서로 상관관계가 없는 변수들의 집합으로 바꿔주는 기술임(Good et al., 2012). PCA는 다중분광 영상의 차원을 줄 때도 효과적으로 많은 정보를 포함하고 있는 초분광 영상의 분석에 적합함
- 아래의 그림은 생육정보의 모델을 이용한 PCA Regression 영상으로, 경작지에서 획득한 엽장, 엽폭과 같은 식생항목에 대한 모델의 개발이 가능함. 이는 기존의 다분광 영상을 이용한 식생지수(건강상태)로 유추하는 방식에 비해 정확한 모델의 개발이 가능하다는 장점이 있음. 모델을 적용한 분석 영상은 다음과 같음



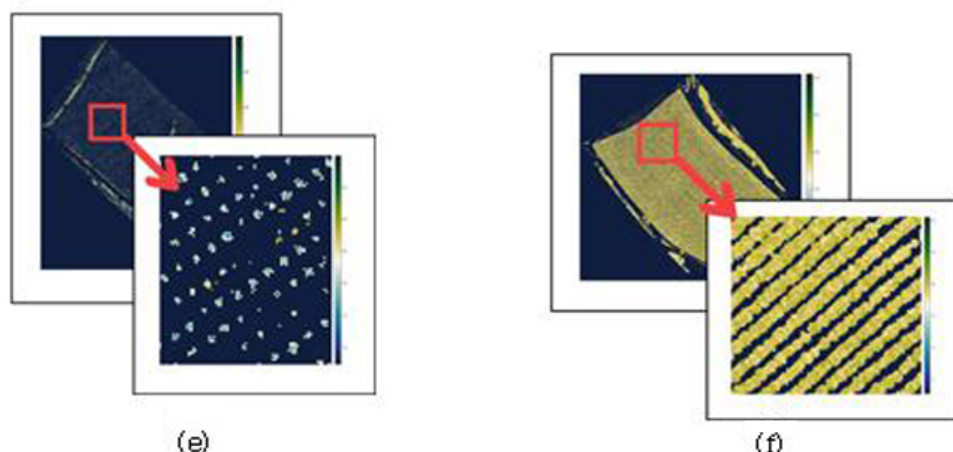


그림 21. 생육 정보 모델을 이용한 PCA Regression 영상(좌 : 경작지 1, 우 : 경작지 2).
(a) 엽장(경작지 1), (b) 엽장(경작지 2), (c) 엽폭(경작지 1), (d) 엽폭(경작지 2),
(e) 엽색(경작지 1) (f) 엽색(경작지 2)

- 위 그림에 적용된 모델은 PCA Regression을 이용하여 분석된 모델로, 첫 번째 경작지와 두 번째 경작지 각각 분석을 수행하였음. 첫 번째 경작지의 수행결과 엽장의 경우 모델의 상관관계(R)가 0.92를 나타내며 높은 연관성을 나타내었으며, 엽폭도 0.89로 높은 정확도를 나타냄. 엽색의 경우 0.8의 연관성을 나타냄
- 주로 영향을 끼친 작용기의 경우 450 nm(chlorophyll), 550 & 720(N detection), 720 & 850nm(N detection), 900-1000nm(water)에서 높은 가중치를 나타냄(Carter and Young, 1993; PenÄuelas et al. 1993, 1996). 이는 배추의 생육 초기 단계의 경우 질소성분이 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 판단되며, 수분도 어느 정도 영향을 끼치는 것으로 판단됨
- 두 번째 경작지의 수행결과 엽장의 경우 0.8의 상관도를 나타내었으며, 엽폭 및 엽색의 경우 0.78, 0.64의 연관성을 나타내었음. 주로 영향을 끼친 작용기의 경우 550 & 720(N detection), 650 & 760nm(chlorophyll), 450 nm(chlorophyll), 900-1000nm(water)에서 높은 가중치를 나타냄(Thorn, 1993; Blackmer, 1995; Oliveira, 2019). 경작지 2의 경우 파종 후 30일 후에 측정된 만큼, 배추가 어느 정도 성장함에 따라 건강상태를 유지하는 가장 중요한 요소인 엽록소 부분과 수분이 많은 영향을 끼친 것으로 판단됨.

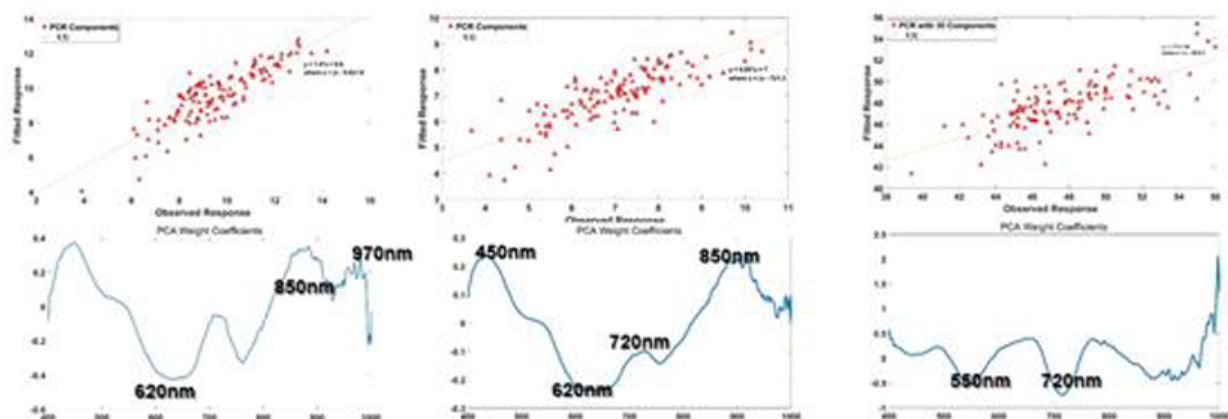


그림 22. 첫 번째 경작지의 PCR regression 분석 영상(좌로부터 엽장, 엽폭, 엽색)

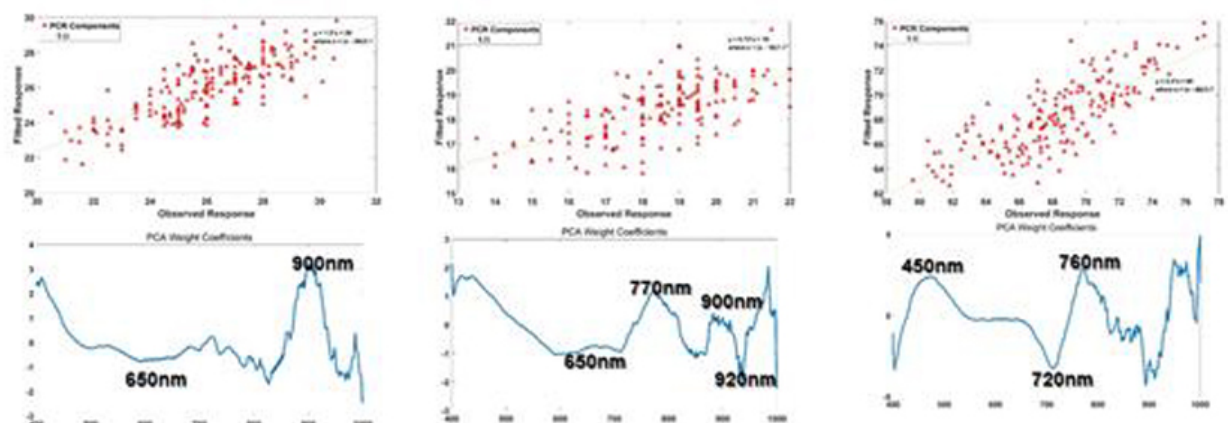
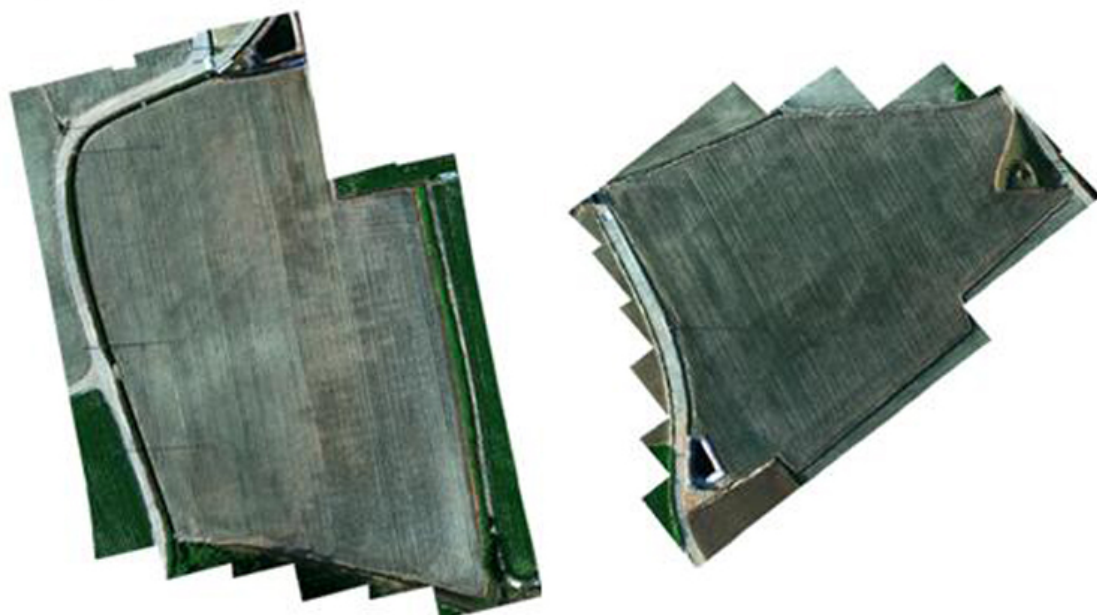


그림 23. 두 번째 경작지의 PCR regression 분석 영상(좌로부터 엽장, 엽폭, 엽색)

다) 대과 작물의 생육 정보 모니터링 센싱기술 개발

① 대과 작물의 생육 정보 및 분광 촬영 장치

- 대과 작물의 생육 정보를 파악하기 위해 대과의 재배가 이루어지는 필드를 측정하였음. 측정된 대과 재배지는 대한민국 전라남도 신안의 2곳 필드에서 이루어졌음. 측정의 경우 8월 25일, 9월 15일, 10월 19일 3차례 측정하였음. 8월 25일 측정값의 경우 데이터의 오류로 인해 분석에서 제외하였음
- 생육정보의 측정을 위해 초분광 카메라 및 다분광 카메라를 통한 분광 영상의 측정과 실측조사가 함께 이루어짐. 실험이 이루어진 장소의 자세한 정보는 아래와 같음



장소1 : 전남 신안군 자은면 백산리 639-49
총면적 : 11,696 m² (3538평)

장소2 : 강원도 태백시 상사미동 51, 52
총면적 : 11,077 m² (3350평)

그림 24. 대과의 생육실험이 이루어진 장소의 상세정보

- 대과의 분광 영상획득을 위해 드론과 분광 영상 시스템을 이용하여 작물의 분광 영상을 획득하였음. 다분광 영상에 사용된 드론은 DJI사의 Matrice 200을 사용하였으며, 다분광 카메라의 경우 Micasence사의 Album을 사용하였음. 자세한 요건은 표 3, 4와 같음. 초분광 영상에 사용된 드론은 DJI사의 Matrice 600 pro를 사용하였으며, 초분광 카메라의 경우 Headwall사의 nano-hyperspec을 사용하였음. 자세한 스펙은 표 8, 9와 같음
- 생육정보의 파악을 위한 모델개발을 위해 2개의 대 경작지에서 실측조사가 수행되었음. 실측조사를 위해 경작지별로 5개의 샘플구역(5m²)을 지정하여 구역별로 샘플링을 시행하였음

- 샘플구역의 경우 경작지의 정확한 표본 조사를 위해 구역별로 일정 거리를 두어 지정되었으며, 구역별로 15주씩 샘플링을 시행하였음. 구역별로 측정된 식생 정보의 경우 평균값을 이용하여 분석에 사용하였으며, 측정된 구역별 측정값은 다음과 같음

표 12. 측정된 첫 번째 대파 경작지의 생육 정보

	초장(cm)	잎편수(ea)	생체중(g)	위경길이(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)
구역1	50.13	6.16	91.16	17.76	55.41	3.16
구역2	65.42	6.06	76.02	17.82	53.56	2.96
구역3	49.08	6.36	76.71	17.84	54.63	2.93
구역4	47.61	5.83	64.43	16.51	52.90	2.82
구역5	43.23	4.86	62.08	17.44	50.31	2.90
평균	51.09	5.86	74.08	17.48	53.36	2.95
분산	11.89	0.66	319.00	1.79	8.74	0.06
표준편차	3.44	0.81	17.86	1.33	2.95	0.25

표 13. 측정된 첫 번째 배추 경작지의 생육 정보

	초장(cm)	잎편수
구역1	40.15	3.91
구역2	35.99	3.45
구역3	37.33	3.79
구역4	36.7	3.43
구역5	36.06	3.18
평균	37.25	3.55
분산	3.21	0.1
표준편차	1.79	0.31

표 14. 측정된 두 번째 배추 경작지의 생육 정보

	초장(cm)	잎편수
구역1	37.36	3.27
구역2	38.43	3.28
구역3	42.99	3.46
구역4	38.08	3.17
구역5	38.69	3.04
평균	39.11	3.24
분산	9.42	0.07
표준편차	3.07	0.27

- 측정된 생육 정보는 초장, 위경당 잎수, 생체중, 위경길이, 엽폭, 엽장이 측정되

있음. 생육 정보들은 농사로 농업기술 포털을 통해 정보를 얻어 진행되었음. 초장의 경우 지면에서부터 주중 최장엽 끝까지의 생존 부위의 길이를 측정하였으며 위경당 연수의 경우 주중 최장엽의 위경당 엽수를 측정하였음

- 생체중, 위경길이, 엽장, 엽폭의 경우 샘플 채취 후 분석을 수행하였음. 샘플은 한 샘플 영역당 15주씩 채취하였으며, 채취 후 바로 생육 정보를 측정하였음. 측정된 생육 정보는 구역당 평균값을 계산하여 분석에 사용하였음

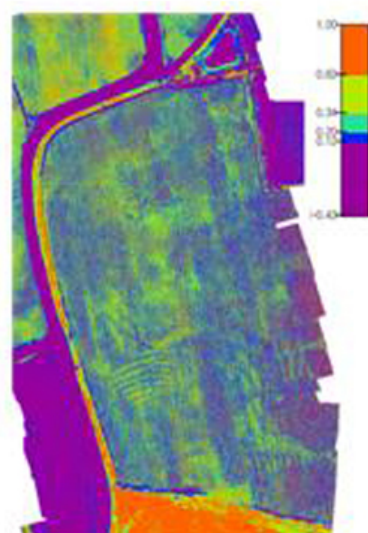
② 분광 영상과 생육 정보 분석

- 식생지수(Vegetation Index)

- 구축된 영상은 카메라를 통해 측정된 Dark Reference와 지상용 반사판을 이용하여 방사 보정 및 기하 보정을 수행하였음. 지상용 반사판의 경우 기존의 측정된 반사율 데이터와 드론을 통해 획득한 반사율 데이터를 비교 및 분석을 통해 보정을 수행하게 됨. 본 실험에 사용된 식생지수는 다분광 영상을 통해 분석되었으며, 4종류의 식생지수(NDVI, NDRE, GNDVI, GRVI)를 사용하였음. 이 식생지수들은 다분광 파장을 통해 계산될 수 있는 식생지수이며, 생육 정보들을 파악하기 위해 사용되었음
- 이는 생육 정보뿐만 아니라, 작물의 건강상태(수분, 영양) 판단이 가능하므로 건강상태의 모니터링이 가능함. 아래의 그림 25의 건강상태 영상의 경우 중앙 부분의 작물들의 건강상태가 비교적 떨어지는 걸 확인할 수 있음. 이를 이용하여 정밀지역의 맞춤 시비를 통해 건강상태 및 수확량의 증가가 가능함
- 식생지수는 작물의 건강상태 및 엽록소 등을 객관적인 지표로 표현할 수 있음. 또한, 식생 분류 및 바이오매스와 같은 지표들의 확인에도 많이 사용되고 있음. 아래의 그림은 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태, 엽록소 및 식생 분류를 표현한 그림으로 식생지수들의 값이 비쌀수록 작물의 건강상태 및 엽록소가 높음
- 이에 식생지수를 이용하여 작물의 건강상태 및 엽록소 정보와 생육 정보 간의 상관관계를 비교하고자 하였음. 식생지수별 경작지의 이미지는 아래와 같으며 분석결과는 아래와 같음

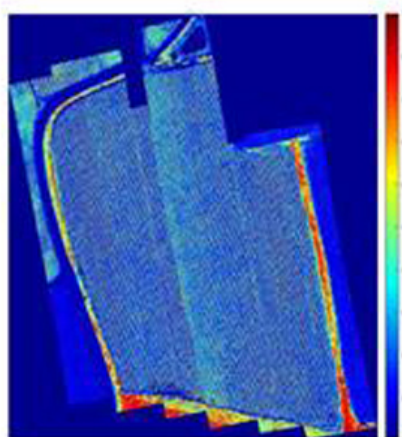


(a)

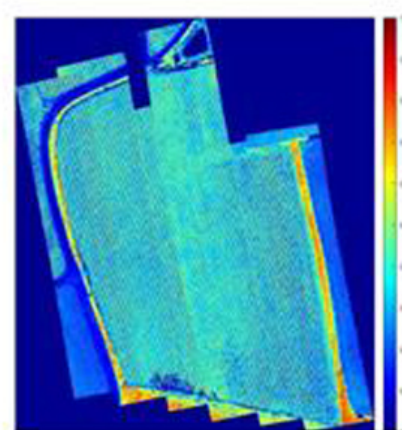


(b)

그림 25. 드론 획득 영상을 이용한 RGB 컬러 영상과 NDVI 식생 영상

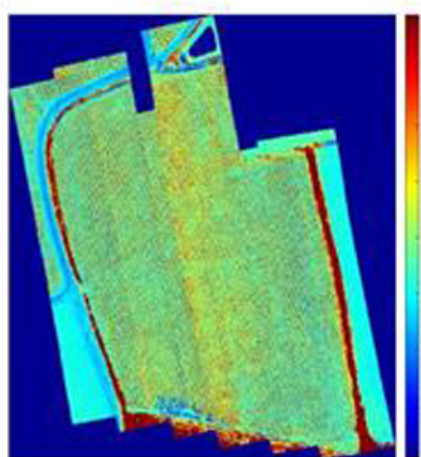


(a)

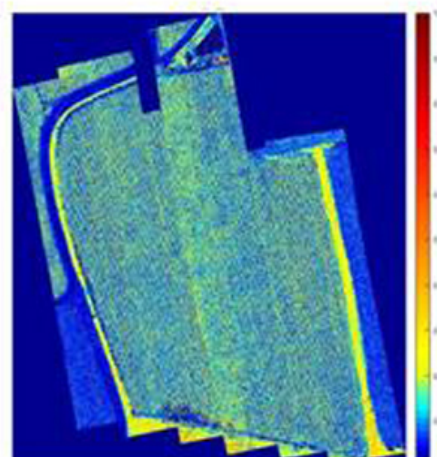


(b)

그림 26. 식생지수를 이용한 작물의 건강상태 영상분석. (a) NDVI, (b), GNDVI



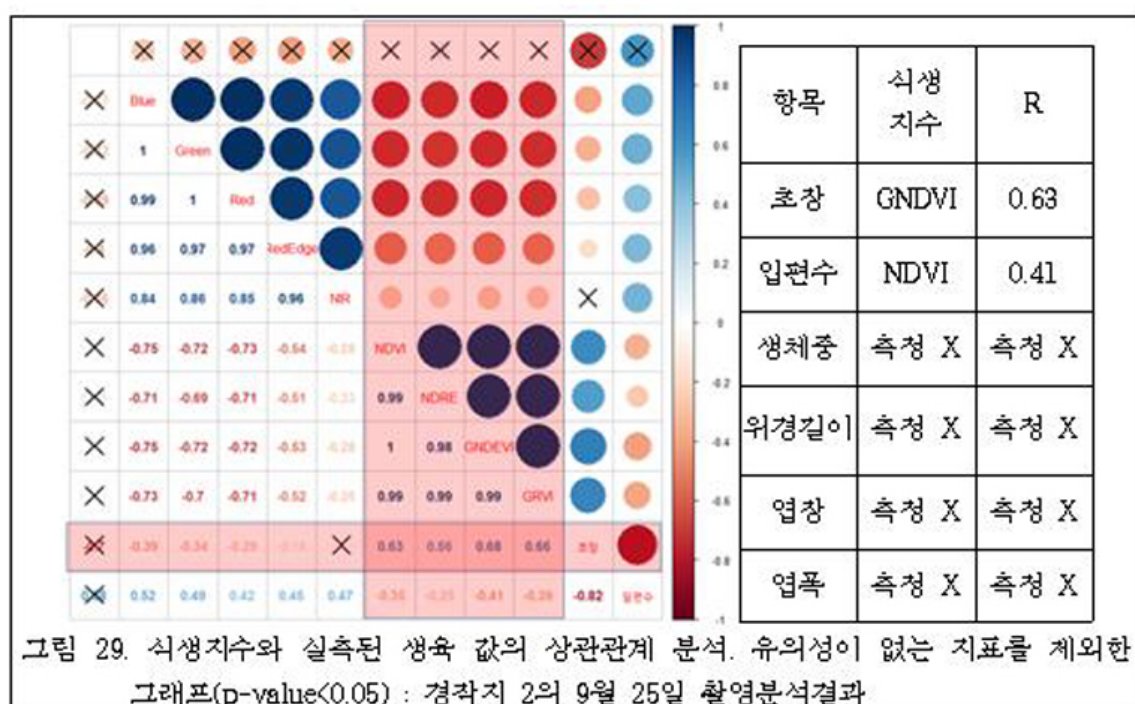
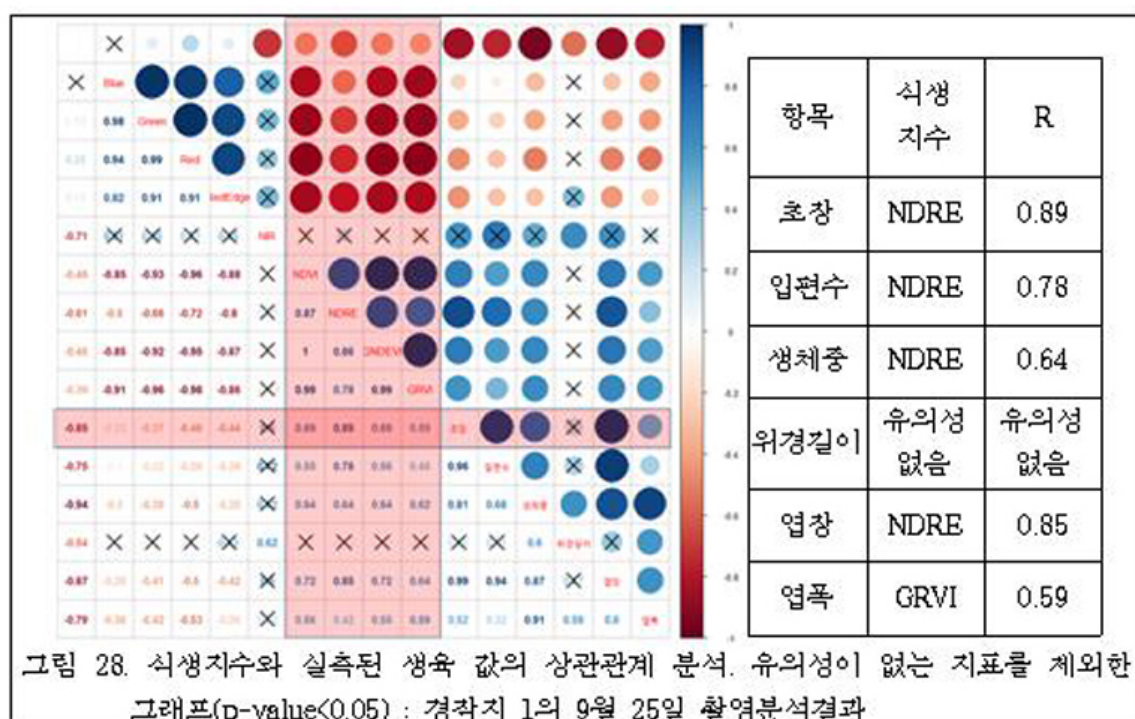
(a)



(b)

그림 27. 식생지수를 이용한 건강상태 및 식생 분류 영상분석. (a) GRVI, (b), NDRE

- 획득된 식생지수(VI)와 생육 정보 간의 상관관계를 파악하였음. 식물의 건강상태가 생육 정보에 미치는 영향을 파악하기 위해 각각의 작물영역의 식생지수 영상을 추출하여 생육 정보 간의 상관관계 분석하였음. 정확도는 R로 표시하였으며, 유의성이 없는($p\text{-value} < 0.05$) 결과의 경우 제거하였음
- 분석의 지표로 사용된 R 값의 경우 두 변수의 상관관계의 크기를 정량화시킨 값으로 1에 가까울수록 식생지수와 지표 간의 상관 계수가 높다고 할 수 있음. 1~0.7의 경우 매우 강한 상관관계를 가지며 0.7~0.3의 경우 강한 상관관계를 나타냄. 0.3~0.1의 경우 약한 상관관계를 나타낸다고 볼 수 있음
- 아래의 상관관계의 그래프의 확인 경우 다음과 같음. 그래프의 항목은 계산된 식생지수와 생육 정보들로 구성되어 있음. 분석값의 경우 식생 측과 생육 정보 측과 만나는 점들이 상관 계수의 값임
- 아래의 그림 28, 29의 경우 이해를 도우려고 붉은색 상자로 표시를 진행하였음. 업장의 항목과 식생지수들과의 관계의 영역이 표시되었으며 이중 NDVI, GNDVI의 항목이 가장 높은 연관성을 가진 것을 확인하였음. 이처럼 아래의 그림에서는 만나는 점들을 모두 확인하여 식생지수별로 생육 정보와 가장 높은 관계성을 갖는 식생지수를 찾아 명시하였음
- 분석결과 첫 번째 경작지에서 초장항목이 0.89로 가장 높은 상관성(R)을 나타내었으며, 인편수의 경우 0.78의 높은 상관성을 나타내었음. 샘플링을 통해 획득된 생육정보의 경우 업장이 0.85의 상관관계를 나타내었으며, 생체중과 업폭이 0.64와 0.59의 상관성을 나타내었음. 두 번째 경작지의 경우 초장과 인편수만 측정되었음, 각각 0.63과 0.41의 상관성을 나타내었음
- 첫 번째 경작지의 경우 식생지수 NDRE가 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 두 번째 경작지의 경우 GNDVI와 NDVI가 높은 상관성을 나타내었음. 첫 번째 필드의 경우 NDRE에 사용된 파장인 NIR와 RedEdge 영역이 많은 영향을 끼친 것으로 사료되며 이는 작물의 건강상태에 관련된 엽록소(Chlorophyll) 성분이 많은 영향을 끼친 것으로 사료됨. 두 번째 경작지 역시 Nir, Green, Red영역이 많은 영향을 끼쳤으며 엽록소(Chlorophyll)성분이 영향을 끼친 것으로 판단됨(Clovers and Gitelson, 2013; Gitelson et al., 2003; Richardson et al., 2002; Ustin et al., 2009).



- Chemometrics Analysis

- Chemometrics 분석법은 분석화학은 한 분야로 적외선 분광 데이터를 통해 얻은 데이터로부터 수학적 모델을 통하여 중요한 화학적 정보를 추출하는 방법임. 이는 기존의 Chromatograph와 같은 기존의 파괴적이고 시간과 비용이 많이 소요되는 분석방법에 비해 비파괴적이고 시간과 비용이 절약된다는 장점이 있음

- 분광법에 따라 획득된 스펙트럼은 스펙트럼의 중첩 및 수많은 파장의 정보 등으로 인해 해석이 어렵다는 단점이 있음. Chemometrics 분석법은 이러한 분광법의 단점을 극복하기 위해 개발된 방법으로 산업체, 농축산물의 품질평가, 식품 가공, 재료산업, 정유 산업, 생명과학, 의학 및 제약 분야 등 전 분야에 걸쳐 응용되고 있음
- 본 연구에 사용된 분석은 Chemometrics 분석법 중 하나인 주성분 분석(PCA)을 사용하였음. 주성분 분석은 원래의 원격탐사 영상을 매우 작고 이해하기 쉬우며 원영상에 있는 대부분 정보를 나타내는 서로 상관관계가 없는 변수들의 집합으로 바꿔주는 기술임(Good et al., 2012). PCA는 다중분광 영상의 차원을 줄 때도 효과적으로 많은 정보를 포함하고 있는 초분광 영상의 분석에 적합함
- 아래의 그림은 생육 정보 모델을 이용한 PCA Regression 영상으로, 경작지에서 획득한 엽장, 엽폭과 같은 식생항목에 대한 모델의 개발이 가능함. 이는 기존의 다분광 영상을 이용한 식생지수(건강상태)로 유추하는 방식에 비해 정확한 모델의 개발이 가능하다는 장점이 있음. 모델을 적용한 분석결과는 아래와 같음
- 아래와 같이 적용된 모델은 PCA Regression을 이용하여 분석된 모델로, 첫 번째 경작지와 두 번째 경작지 각각 분석을 수행하였음. 분석결과 상관관계(R)의 경우 엽장이 0.88의 상관도를 나타내었으며, 옆 입수의 경우 0.81의 상관도를 나타내었음. 샘플채취후 수행된 생체중, 위경길이, 엽장, 엽폭의 경우 각각 0.84, 0.92, 0.86, 0.76의 정확도를 나타내었음
- 주로 영향을 끼친 작용기의 경우 450 nm(chlorophyll), 550 & 720(N detection), 720 & 850nm(N detection), 900-1000nm(water)에서 높은 가중치를 나타냄(Carter and Young, 1993; Penãuelas et al. 1993, 1996). 이는 배추의 생육 초기 단계의 경우 질소성분이 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 판단되며, 수분도 어느 정도 영향을 끼치는 것으로 판단됨
- 850, 880, 900-1000nm의 경우 수분에 의한 작용기에 의한 것으로(Peñuelas et al., 1997; Babar et al., 2006; Prasad et al., 2007). Field1의 생체중의 경우 수분의 영향을 많이 받았음을 확인이 가능하였음. 엽장에 영향을 끼친 820 nm의 경우 엽록소의 관련된 항목으로 캐노피 및 잎의 두께와 관련이 있는 영역으로 알려져 있음(Ceccato et al, 2006). 엽록소의 활동이 잎의 두께에 엽장에 영향을 끼친 것으로 사료되며 수분(860, 900-1000 nm)과 질소(720, 790 nm)도 영향을 끼친

것으로 사료됨. 다른 식생정보 또한 압록소, 질소, 수분에 의해 영향을 기친 것으로 사료되었음

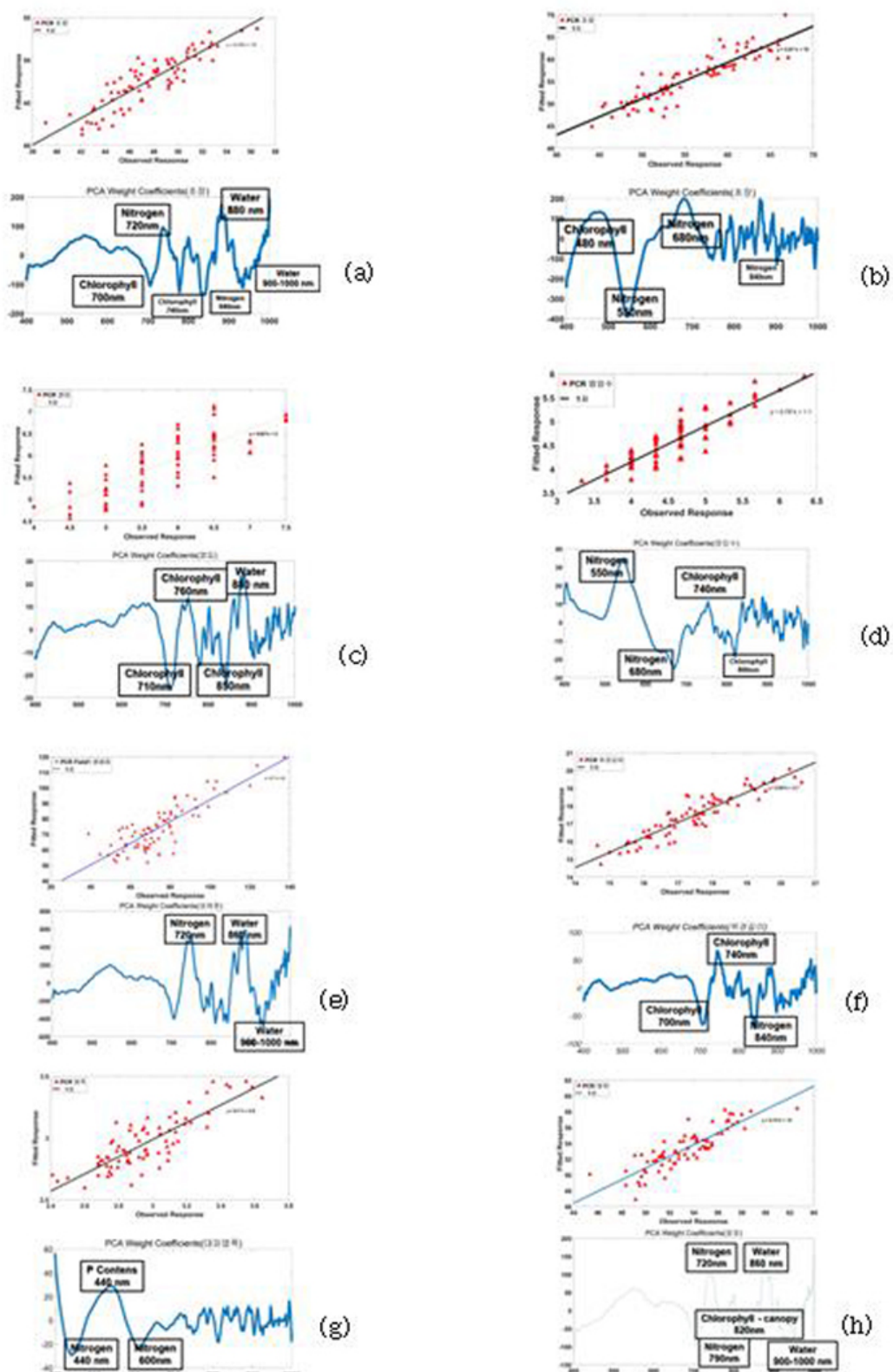


그림 30. 생육 정보 모델을 이용한 PCA Regression 영상(좌 : 경작지 1, 우 : 경작지 2). (a) 초장 (경작지 1), (b) 초장(경작지 2), (c) 잎편수(경작지 1), (d) 잎편수(경작지 2), (e) 생체중 (경작지 1), (f) 위경길이(경작지 2), (g) 엽록, (h) 엽장