

논콩 재배를 위한 노지 스마트팜 모니터링 시스템 구축

이 선 혜^{1*} · 배 희 수¹ · 전 용 희² · 조 준 현² · 박 영 은² · 강 현 중² · 이 영 훈² · 상 완 규¹ · 이 지 윤² · 김 정 태¹ · 이 지 은³

¹농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사 ²농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관 ³농촌진흥청 기술협력국 농업연구사

Building Open-Field Smart Farm Systems for Soybean Cultivation in Paddy Fields: Application of Smart Agricultural Technology and Data Monitoring

Seon-hye Lee^{1*} · Huisu Bae¹ · Yong-Hee Jeon² · Jun-Hyeon Cho² · Young Eun Park² · Hyeon Jung Kang² · Yeong-Hoon Lee² · Wan-Gyu Sang¹ · Ji Yoon Lee² · Jung Tae Kim¹ · Ji-Eun Lee³

¹Researcher, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Technology Cooperation Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

[요 약]

본 연구에서는 스마트농업기술을 기반으로 발작물 안정 생산과 효율적 영농 관리를 위한 노지 스마트팜을 구축하고 데이터 모니터링 및 분석을 통해 투입 기술의 현장 적용성을 종합적으로 검토하였다. 논콩 재배를 위해 지역별 토성과 배수등급 등 토양특성을 분석하여 배수시설의 활용 가능성을 확인하였고, 기상 데이터 확보를 위해 시험지역과 인근 기상관측대의 데이터를 분석하여 기상데이터 활용 기준을 도출하였다. 재배기간 동안 생육 센서를 활용하여 환경에 의한 논콩의 생육 변화를 분석하였고, 정규 식생지수와 논콩의 성숙기와 일치하는 경향을 보여 콩 수확시기 추정에 활용될 가능성을 확인하였다. 토양 센서를 활용하여 재배기간의 수분 변화를 모니터링하였고, 과습 및 가뭄 상태를 효과적으로 파악하였다. 또한 스마트농업기술의 메타데이터 항목을 도출하여 노지 스마트팜 관리와 데이터 분석을 위한 기초를 마련하였다. 최종적으로 암거배수, 작물생육, 환경 모니터링 등 분야별 요소 기술의 현장 적용 결과는 노지 스마트팜 운영과 관련 시스템 개발에 유익한 참고 자료로 활용될 것으로 보인다.

[Abstract]

In this study, an open-field smart farm system was implemented and monitored, integrating various smart agricultural technologies to ensure stable crop production and enhance management efficiency. The monitoring system provided valuable insights into field conditions relevant to the cultivation of soybean in paddy fields, enabling the identification of key environmental and crop growth parameters. Specifically, plant growth sensors indicated the potential to estimate the soybean harvesting season, while soil sensors effectively detected waterlogging and drought conditions in different soil textures, as determined by soil moisture and tension values. The applied results of smart agricultural technologies, such as subsurface drainage, crop growth monitoring, and environmental monitoring, are expected to serve as valuable references for open-field smart farm management and the development of related smart farming systems.

색인어 : 데이터 모니터링, 스마트농업 메타데이터 항목, 노지 스마트팜, 콩, 발작물

Keyword : Data Monitoring, Metadata Fields for Smart Agriculture, Open-field Smart Farms, Soybean, Upland Crops

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.11.3259>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 29 October 2024; **Revised** 15 November 2024

Accepted 21 November 2024

***Corresponding Author; Seon-hye Lee**

Tel: +82-63-238-5126

E-mail: peachleesh@korea.kr

1. 서론

4차 산업혁명은 초연결성 및 초지능화에 기반하여 정보통신기술(ICT; information and communications technology)을 통해 핵심 기술들이 융합되어 전체 산업의 구조 및 서비스를 변화시키고 있다. 대표적인 핵심기술로는 로봇, 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷, 클라우드, 3D 프린팅, 블록체인이 있으며, 핵심기술의 성장 및 발전을 위해 국가 차원의 정책을 수립 및 추진 중이다[1]. 특히 농업 분야에서는 기후변화 및 인구감소에 따른 농업 인구 고령화 등 변화되는 농업환경에 대응하고, 지속 가능한 농업을 실현하고자 4차 산업혁명 기술을 적용한 스마트팜 등으로 스마트농업을 확산하고 있다[2].

스마트농업은 다양한 정의가 존재하지만, 일반적으로, ICT 기술과 기계 자동화를 통해 농업환경을 개선하고, 편리·효율적이며 예측 가능한 농업을 구축하는 새로운 패러다임으로 정의할 수 있다[3]. 스마트농업은 기술 수준인 의사결정 및 제어 주체에 따라 다음과 같이 구분된다. 1세대는 통신 기술을 기반으로 사람의 의사결정에 따라 환경정보를 모니터링하고 원격 제어하는 단계이다. 2세대는 수집된 환경 및 생육 정보를 바탕으로 사람이 의사결정을 하며, 빅데이터와 인공지능을 활용해 컴퓨터가 정밀한 생육 관리를 수행한다. 3세대는 지능형 로봇을 도입해 전 과정을 자동화하는 것이 특징이다[4],[5].

ICT 기술이 접목된 스마트팜은 단순한 노동력 절감뿐만 아니라 농작업의 시·공간적 구분에서 벗어나 작물의 생산 경쟁력을 높이는 방안으로 주목받고 있다[3]. 스마트팜은 재배 환경에 따라 노지와 시설로 나뉘며, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술을 적용해 생육환경을 효율적으로 관찰하고 최적 상태로 자동 관리한다. 스마트팜은 재배 품목에 따라 스마트팜(시설원예), 스마트축사(축산), 노지 스마트팜(노지작물 및 과수)으로 구분된다. 특히 원예작물의 연중 공급을 가능하게 하여 농가 소득을 증대시키는 시설원예 부문에 스마트농업 기술의 적용 및 관련 정책이 집중되고 있는 것으로 나타났다[4],[5].

작물 재배 면적을 살펴보면 총 1,946,638 ha 중 노지작물이 95.73%(1,863,601 ha)를 차지하고, 시설작물은 4.27%(83,037 ha)에 불과하다. 노지 재배면적 중 식량작물이 76.06%(1,480,545 ha)로 가장 많고, 과수는 15.97%(310,800 ha), 채소는 3.71%(72,256 ha)로 확인되었다[6]. 따라서 시설원예 스마트팜뿐 아니라 식량작물의 안정적인 생산을 위한 노지 스마트팜 구현이 중요하며, 이를 위한 스마트 농업기술 개발과 정책적 지원이 필요하다.

노지작물의 재배 환경은 논과 밭으로 분류되지만 최근 암거배수 등 농지 범용화 기술의 발달로, 논과 밭을 번갈아 사용하는 답전윤환이 경지이용률을 높이는 주요 기반 환경으로 활용될 수 있다[7]. 노지 스마트농업의 요소 기술로는 작물의 생육을 측정하기 위해 광학기기를 활용한 영상데이터의 수집

및 분석을 통해 초장, 엽면적, 생체중 등의 형태적 특성을 측정하고[8], 식생지수를 기반으로 근략 피복률과 생육 상태를 파악하는 방식이 있다[9]. 발작물의 안정적인 생산을 위해, 다양한 배수 방법에 따른 수분스트레스 반응과 배수 개선 효과를 분석하였고[10], 작물 재배기간 동안 토양수분 함량과 공간 변이를 분석하여 최적 관개를 위한 정보를 제공하고자 하였다[11]. 데이터 모니터링은 스마트팜 구현과 유지의 핵심 요소로, 다양한 종류의 센서에서 수집된 데이터를 모니터링하고 관리하기 위한 시스템과 플랫폼이 개발되고 있다. 플랫폼 기반으로 노지작물의 생육 및 환경 모니터링을 위해 센서, 통신, 데이터, 제어, 시각화 노드로 시스템이 구성되었고, 빅데이터를 활용해 생육 모델링을 수행하였다[4].

노지 스마트농업 기술은 생육 진단과 토양 분석 등 분야별로 개발되었지만, 이를 종합적으로 현장에 적용해 평가한 연구는 부족하다. 또한, 스마트농업 구현을 위해 디지털 센서를 투입해 생육과 환경정보를 수집하고 있으나, 메타데이터 수집과 모니터링 사례는 제한적이다. 본 연구에서는 노지 스마트농업 기술을 논콩 재배 현장에 적용하여 노지 스마트팜 체계를 구축하였다. 표준화된 메타데이터 확보를 위한 현장 관리 및 데이터 수집 요건을 도출하였으며, 안정적 생산과 효율적 관리를 위해 생육 및 환경정보를 수집하고 분석하여 스마트농업기술의 적용성을 평가하였다. 또한, 노지 스마트팜 구축과 관련 시스템 개발을 위한 데이터 수집 요건과 활용 방향을 제시하였다.

II. 노지 스마트팜 모니터링 시스템 구성

2-1 노지 스마트팜 구축을 위한 배수·디지털 기반 조성

본 시험은 노지 스마트농업 기술의 현장 적용을 위해 경상북도 영덕(36°34'7.97"N / 129°24'25.16"E) 및 상주(36°26'14.21"N / 127°56'29.15"E) 출장소의 논콩 시험포장에서 수행되었다. 논 범용화를 위한 배수 및 지하수위 조절을 목적으로, 시험포장 내 4 m 간격 및 1 m 깊이로 암거배수를 시공하고, 집수정에 양수기를 설치해 배수를 관리하였다. 논콩 생육 및 재배 환경을 관측하기 위해 디지털 센서와 데이터 로거를 사용하였으며, 센서 자동인식, 통신모뎀 탑재, 태양광 패널을 이용한 무선 배터리 충전, 클라우드 플랫폼 제공 등 다양한 조건을 고려하여 장비를 선정하였다.

본 연구에서는 METER사의 복합기상(ATMOS 41), 정규 식생지수(NDVI; normalized difference vegetation index, S2-411, S2-412), 광화학 반사 지수(PRI; photochemical reflectance index, S2-421, S2-422), 적외선 열온(IRT; infrared radiometer, SI-400), 토양장력(TEROS 21), 토양 수분함량(TEROS 12), 지하수위(HYDROS 21) 및 이와 호환되는 데이터 로거(ZL6)를 사용하였다(표 1 참조).

표 1. 측정 항목과 센서 사양

Table 1. Measurement items and sensor specifications

Category	Sensor	Item	Measurement range (unit)
Weather	All in One Weather Sensor	Solar radiation	0 ~ 1,750 (W/m ²)
		Precipitation	0 ~ 400 (mm/h)
		Wind direction	0 ~ 359 (°)
		Wind speed	0 ~ 30 (m/s)
		Gust speed	0 ~ 30 (m/s)
		Air temperature	-50 ~ 60 (°C)
		Vapor pressure	0 ~ 47 (kPa)
		Atmospheric pressure	1 ~ 120 (kPa)
Plant growth	NDVI Sensor	Irradiance	650, 810 nm (W·m ⁻² ·nm ⁻¹)
		Radiance	650, 810 nm (W·m ⁻² ·nm ⁻¹ ·sr ⁻¹)
	PRI Sensor	Irradiance	532, 570 nm (W·m ⁻² ·nm ⁻¹)
		Radiance	532, 570 nm (W·m ⁻² ·nm ⁻¹ ·sr ⁻¹)
IRT Sensor	Target temperature	-50 ~ 80 (°C)	
	Body temperature		
Soil moisture	Matric Potential Sensor	Matric potential	-9 ~ -2,000 (kPa)
		Soil temperature	-40 ~ 60 (°C)
	Soil Moisture/Temp ^{1)/EC²⁾ Sensor}	Water content	0.0 ~ 0.70 (m ³ /m ³)
		Soil temperature	-40 ~ 60 (°C)
		Saturation extract EC	0 ~ 20 (mS/cm)
	Multi-parameter Water Quality Sensor	Water level	0 ~ 10,000 (mm)
		Water temperature	-40 ~ 60 (°C)
		EC	0 ~ 120 (mS/cm)

¹⁾temperature, ²⁾electric conductivity

2-2 현장 데이터 수집 및 처리

디지털 센서의 측정 간격은 30분으로 설정하였고, 수집된 데이터는 무선통신망을 통해 1시간 간격으로 제조사의 클라우드 플랫폼(<https://zentracloud.com>)에 전송되었다. 클라우드 플랫폼에 저장된 데이터는 국립식량과학원 ‘통합관제시스템(CIDAS; center for integrated digital agriculture system)’에 API(application programming interface)로 연계하여 장기 보관하였다. 재배기간 센서 작동 및 데이터 송수신 모니터링은 제조사의 클라우드 플랫폼을 활용하였다. 데이터 분석을 위해 수집된 데이터는 xlsx 형식의 파일로 추출되었다. 지역, 작물, 포장번호, 시험설계를 반영하여, 데이터 파일의 필드명이 중복되지 않도록 새롭게 생성하고, 메타데이터를 입력하여 데이터 분석에 참고하였다.

데이터는 엑셀 파워쿼리 기능으로 처리하였고, 데이터 형식 정의 → 칼럼별 보정 계산식 적용 → 데이터셋 병합 순으로 진행하였다. 센서 측정시간인 ‘timestamp’의 데이터 형식은 ‘날짜/시간(YYYY-MM-DD)’으로 정의하고, 나머지 항목은 10진수로 설정하였다(그림 1 참조).



그림 1. 현장 데이터 전처리 과정

Fig. 1. Workflow for field data preprocessing

토양수분함량(m³/m³)은 측정값에 100을 곱하여 %로 변환하였고, 엽온도(°C)는 측정값에 센서 온도를 뺀 후 분석에 사용하였다. 지하수위는 센서 길이에서 지상에 노출된 길이를 뺀 보정값을 적용하여 ‘cm’ 단위로 변환하였다. 데이터 모니터링은 30분 단위로 수행되었으며, 기초 통계 분석은 일별 데이터로 변환하여 진행되었다. 기상 데이터의 강수량은 ‘합계’, 풍향은 ‘최대 값’, 나머지 항목들은 ‘평균’으로 요약하여 분석에 사용되었다(표 2 참조).

표 2. 현장 데이터 처리방법 및 계산식

Table 2. Field data processing and formulas

Category	Field name	Description
Data format	Timestamp	Date/Time
	Others	Decimal
	Water content	Value * 100 (m ³ /m ³ → %)
Formulas/ Unit conversions	Target temperature	Value - Body temperature (°C)
	Water level	(Value - (Sensor length - Above-ground length of the sensor)) * 0.1(mm → cm)

2-3 재배관리 및 생육특성 조사

장류 및 두부용 콩 품종인 ‘대찬’, ‘선유2호’, 울콩 품종인 ‘풍울’을 공시품종으로 사용하였으며, 지역별 기상 상황을 고려하여 영덕지역은 6월 19일, 상주지역은 6월 8일에 파종하였다. 논콩의 재식거리는 70 x 20 cm 간격으로 2립씩 점파하였고, 파종 24시간 후 두둑 높이의 80%까지 관·배수하였다. 콩 표준 시비량은 3-3-3.4(N-P-K) kg/10a 수준으로 처리하였고, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법을 따랐다 [12]. 주요 병해충인 파밤나방, 담배거세미나방, 노린재류, 들불병 등은 필요시 방제하였다.

생육조사 항목은 작황시험 조사 기준과 재배 전문가의 의견을 반영해 기초 생육과 수량 구성 요소 중심으로 재편성하였다. 조사는 농업과학기술 연구 조사 분석 기준 [13]을 참고하여 파종 후 한 달 간격으로 다음과 같이 총 4회 실시하였다. 1회차: 파종기(YYYY-MM-DD), 출현기(YYYY-MM-DD), 출현율(%), 출현정도(양호, 중간, 불량), 개체수(개/m²), 착엽

고(cm), 초장(cm), 경장(cm), 마디수(개/개체), 특이사항(병해 등), 2회차: 개화기(YYYY-MM-DD), 초장(cm), 경장(cm), 경태(mm), 마디수(개/개체), 특이사항(병해 등), 3회차: 경장(cm), 경태(mm), 마디수(개/개체), 분지수(개/개체), 협수(협/개체), 특이사항(도복 등), 4회차: 성숙기(YYYY-MM-DD), 경장(cm), 경태(mm), 마디수(개/개체), 분지수(개/개체), 협수(협/개체), 립수(개/개체), 백립중(g), 종실중(g), 수량(kg/10a), 특이사항(병해, 충해, 도복 등).

2-4 토양 분석 및 특성 조사

시험포장의 동계작물 수확 후 토양 표면의 부유물을 걷어 내고, 오거(auger)를 이용하여 표토(0~20 cm)를 포장별로 3점씩 채취하였다. 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체에 걸러 시료로 사용하였으며, 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다[14]. pH(1:5)는 초자전극법(SevenExcellence pH/Condmeter S470, Mettler Toledo, Switzerland)으로 측정하고, 유기물 함량과 총질소는 원소분석기(Primacs SNC 100, SKALAR, Netherlands)로 분석하였다. 유효인산은 Lancaster 법으로 침출 후 분광광도계(Cintra 404, GBC Science Equipment Ltd, Australia)로 측정하였다. 재배포장의 지하수위는 지면에서 환원층까지의 깊이를 측정하였고, 시험지역의 토양통, 배수등급 등의 추가적인 토양 정보는 '흙토람(<https://soil.rda.go.kr>)' 서비스를 통해 확인하였다.

III. 노지 스마트팜 모니터링 시스템 구축

3-1 스마트농업기술 기반 노지 스마트팜 구축

배수관리, 기상환경, 작물생육, 토양수분 등 작물 재배와 관련된 스마트농업기술을 선정하여, 2023년 경상북도 영덕

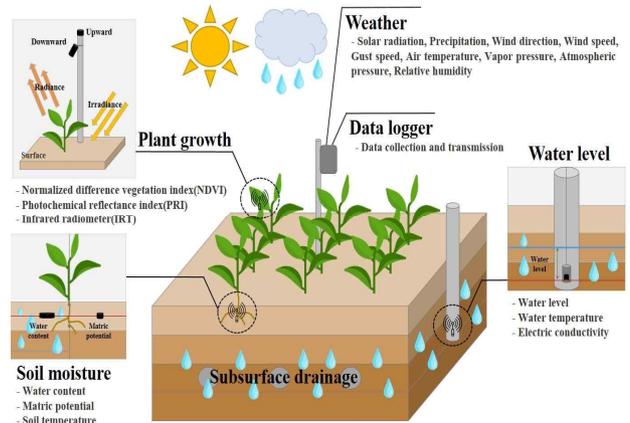


그림 2. 스마트농업 기술 기반 노지 스마트팜 구성도
 Fig. 2. Overview of an open-field smart farm based on smart agriculture technology

군과 상주시에 위치한 지역출장소의 논콩 재배포장에 노지 스마트팜을 구축하였다(그림 2 참조).

1) 토양특성 분석 및 배수기반 조성

콩과 같은 발작물은 강우로 인해 토양수분이 증가하면 뿌리에 습해를 입어 생육이 저해되거나 고사할 수 있으므로, 배수 관리를 통한 과습 피해 예방이 매우 중요하다. 시험지역의 배수시설 도입을 위해 재배 지역의 토양통을 확인한 결과, 영덕은 금진통, 상주는 극락통과 지산통으로, 포장별 토양특성에 차이가 있는 것으로 나타났다(표 3 참조). 화학성 분석 결과 토양의 비옥도는 모두 양호한 상태였다.

시험포장의 배수등급을 분석한 결과, 영덕은 불량, 상주는 약간 양호 또는 약간 불량으로 확인되었다. 대부분의 밭 토양은 배수가 양호한 편이며, 이모작 재배가 가능한 논은 약간 양호, 반 습답은 약간 불량, 습답은 매우 불량한 상태로 분류된다. 습답은 지하수위가 지표면 가까이 있어 물이 잘 고이고, 강우 후 배수가 어려운 토양으로 주로 논으로 사용된다[15].

표 3. 논콩 재배포장의 토양 화학성 및 물리성

Table 3. Soil chemical and physical properties in paddy soybean field

Area	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	P2O5 (mg kg ⁻¹)	SiO2 (mg kg ⁻¹)	Exch.cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)				Soil Texture		
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Yeongdeog	7.3	30.5	173	249	0.3	10	2	0.2	58.5	35.1	6.4
										(Sandy loam)	
Soil series		Geumjin*			0.1	8.6	2.5	0.5	55.8	26.3	17.9
										(Sandy loam)	
Sangju	6.3	37	101	220	0.3	7.4	2.3	0.1	35.4	46.9	17.6
										(Loam)	
Soil series		Geugrag*			0.2	5.9	3.8	0.2	20.5	52.3	26.3
										(Silty loam)	
		Jisan*			0.3	4	1.9	0.1	32.6	47.4	20.0
										(Loam)	

*The soil depth range is 0 to 20cm

토양의 배수등급은 경사, 투수성, 지하수위 등에 의해 결정된다. 경사가 심할수록 배수가 빠르고, 평탄한 논에서는 배수가 어렵다. 또한, 점토 함량이 높은 토양은 투수성이 낮아 물이 천천히 스며든다.

영덕 시험포장 토양분석 결과 모래와 양토가 혼합된 형태인 사양토로 물 빠짐이 적당하고 보수성이 뛰어나 물과 영양분을 잘 보유하여 작물 재배에 적합한 것으로 나타났다. 유효토심은 50~100 cm로 확인되어 뿌리 생장에 충분한 공간이 제공되었다. 상주 시험포장은 양토로 확인되었으며, 모래, 미사, 점토가 적절히 혼합된 토양으로 배수성과 보수성이 우수하여 작물 재배에 적합하다. 또한 유효토심은 100 cm 이상으로 뿌리의 생장에 이상적인 조건이나, 가뭄 시에는 수분 부족으로 표토가 건조해질 수 있어 적절한 관수가 필요하다. 토양 특성 분석결과, 시험포장 내 발작물 재배를 위해 배수시설 도입이 필요함을 확인하였으며, 무굴착 암거배수지하수위 조절 시스템을 도입하여 배수 기반을 구축하였다. 논콩 재배 시 장마철의 폭우로 인한 과습을 방지하기 위해 집수정의 밸브를 열어 양수기로 지하수를 배출하고, 가뭄 시에는 밸브를 닫아 토양 내 수분을 보유하도록 배수시설을 관리해야 한다.

2) 기상 데이터 확보 및 활용

기상 데이터의 확보는 작물의 생육상황을 파악하고, 효율적 농작업을 위해 필수적이다. 재배 현장의 기상정보는 공공 데이터를 활용하거나, 기상센서를 설치하여 수집할 수 있다. 기상청의 종관기상관측은 동일한 시각과 지점에서 수행되며, 지역별 실시간 기상정보 제공과 예보에 활용된다. 농업기상관측은 기상청과 농촌진흥청이 수행하며, 기상정보 외에 토양 온도 및 수분 함량 등 농업 기상 요소도 측정한다. 방재기상관측은 기상관측 사각 지역의 태풍·홍수가뭄 등 기상현상에 따른 자연재해를 예방하기 위해 국지적인 위험 기상을 자동으로 관측하는 것으로, 국가 및 지자체에서 수행한다[16].

기상데이터 관측장비는 종관기상관측장비(ASOS; automated synoptic observing system), 농업기상관측장비(AAOS; automated agricultural observing system), 방재기상관측장비(AWS; automatic weather system,)로 분류

되며, 공공서비스로 제공되는 기상데이터는 측정장비와 데이터 품질관리가 엄격하여 고품질의 기상정보를 제공한다. 노지 스마트팜 구축을 위해 시험지역 인근의 공공기상정보는 기상청에서 운영하는 종관 및 방재기상과 농촌진흥청에서 운영하는 농업(방재) 기상정보를 활용하였다(표 4 참조).

본 연구에서는 각 지역에 기상센서를 설치하여 논콩 재배 기간(2023년 6~10월)의 미기상(Micrometeorology) 자료를 수집하였다. 관측지점별 기상데이터의 차이를 확인하기 위해, 공통으로 수집된 기온, 강수량, 풍속데이터를 비교 분석하였다. 낙뢰로 인한 상주 시험포장의 기상 센서 고장으로 2023년 7월 21일부터 8월 29일까지 39일 동안 데이터 수집이 불가하여 해당 기간은 분석에서 제외되었다. 기상데이터 분석결과 관측지점의 지형·지리 인자는 기상 데이터 수집에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 영덕의 평균기온은 관측지점 간 경향 차이가 없었으나(그림 3a 참조), 산악지형 인근의 상주(기상청-종관 기상) 지점은 다른 관측지점보다 기온이 다소 높았다(그림 3d 참조). 강수량은 전반적으로 관측지점 간 패턴이 유사했지만, 원거리(기상청-방재기상) 지점에서는 지형의 영향으로 일부 데이터에 차이가 있었다(그림 3b, 3e 참조).

풍향은 평균기온 및 강수량에 비해 데이터 간 차이가 크게 나타나는 항목으로, 지형적 요인의 영향이 큰 것으로 확인되었다. 영덕(기상청-방재기상)은 산악지형 아래에 위치하여 관측지점보다 풍속이 다소 낮은 경향을 보였다(그림 4a 참조). 기상자료 개방 포털에서 제공하는 바람 계급별 일수(풍배도)를 분석한 결과, 영덕(기상청-방재기상)은 해안가 관측지점(무풍률 8.5%)에 비해, 내륙지역의 지점(기상청-방재기상)은 고요(풍속 0.4 m/s 이하)의 출현 빈도가 30.1%로 높았다. 또한 상주의 산악지형을 중심으로 양쪽의 관측지점에서 수집된 풍속 데이터는 일부 기간 서로 다른 패턴을 보였고, 풍배도 분석결과 풍향의 빈도와 풍속에 차이가 있는 것으로 나타났다(그림 4b 참조).

표 4. 영덕과 상주의 기상관측장비 정보

Table 4. Information of automatic weather observation system in Yeongdeog and Sangju

Region	Classification	Site No.	Latitude (°)	Longitude (°)	Elevation (m)	Distance (km)*
Yeongdeog	ASOS(KMA)	277	36.53336	129.40924	42	5.2
	AAOS(NAAS)	766851E001	36.56831	129.39595	17	0.077
	AWS(KMA)	844	36.43551	129.35859	22	23
	MM(NICS)	-	36.56888	129.40699	14	-
Sangju	ASOS(KMA)	137	36.40837	128.15741	96	28
	AAOS(NAAS)	741862E001	36.43992	127.94446	294	0.363
	AWS(KMA)	834	36.44122	127.9442	284	0.827
	MM(NICS)	-	36.43728	127.94143	291	-

KMA; Korea meteorological administration, NAAS; national institute of agricultural sciences, NICS; national institute of crop sciences
*The distance from the weather sensors at each branch to the weather observatories, including ASOS, AAOS, and AWS.

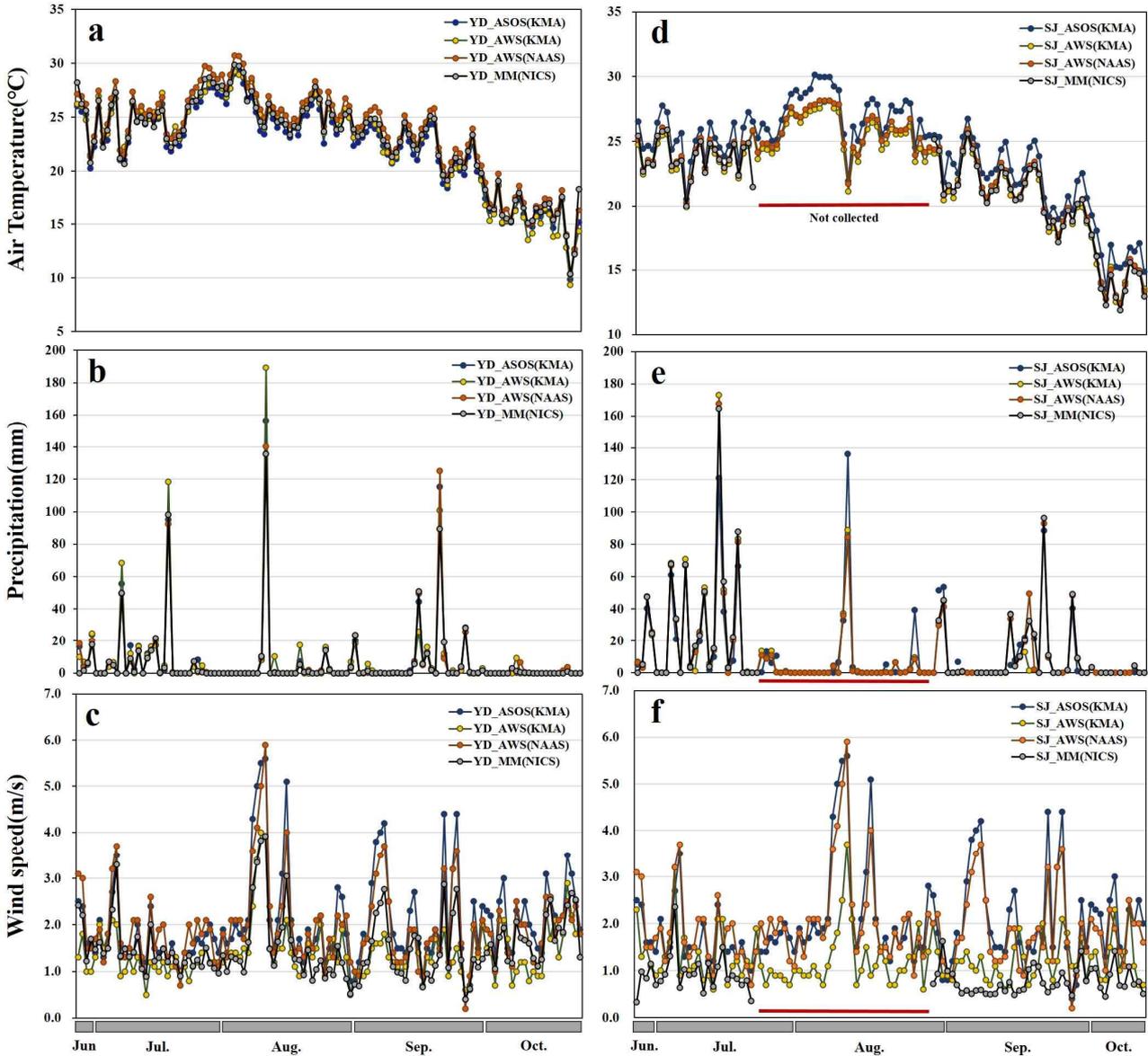


그림 3. 관측지점별 기상데이터 비교: a. 영덕-기온(°C), b. 영덕-강수량(mm), c. 영덕-풍속(m/s), d. 상주-기온(°C), e. 상주-강수량(mm), f. 상주-풍속(m/s)

Fig. 3. Comparison of weather station data: a. Yeong deog-air temperature(°C), b. Yeong deog-precipitation(mm), c. Yeong deog-wind speed(m/s), d. Sangju-air temperature(°C), e. Sangju-precipitation(mm), f. Sangju-wind speed(m/s)

기상정보의 공간 규모는 종관관측(ASOS)이 수백 km에서 수천 km, 농업관측(AAOS)은 수백 m에서 수 km, 방재관측(AWS)은 수 m에서 수백 m로 측정된다. 종관기상은 대규모 날씨와 기후 분석에 활용되며, 미세규모 기상은 지면에 접한 1.5 m 높이의 대기층을 측정해 농작물 성장과 직접적으로 관련된다. 미세규모 기상 데이터는 지형을 고려한 국지적 기상 정보를 반영하므로 지역 기후 분석에 유용하게 활용될 수 있다. 따라서 산악지형 등 지리적 특성이 기후에 영향을 미치는 지역이나 맞춤형 데이터 모델 개발이 필요한 경우, 센서를 설치해 지리적 특성을 반영한 미기상 데이터를 확보하는 것이

필수적이다. 노지 환경의 센서 고장·오작동은 농작업 및 기상 환경에 의해 현장에서 흔하게 발생한다. 따라서 센서의 작동 상황을 감지하고 신속하게 조치할 수 있는 센서 운영 기준이 요구된다. 센서의 정상 작동상태는 시간별로 수집되는 데이터의 건수를 범주화하여 확인할 수 있으며, 데이터 누락 빈도의 모니터링으로 센서의 오작동·고장 등과 같은 이상 상태를 신속하게 파악할 수 있다. 센서값의 정성적 모니터링을 위해 사용된 센서의 측정 범위를 일차적인 이상 범위로 설정하고, 항목별 기초통계 분석으로 최소 - 최대값의 정상범위를 설정하여 데이터의 이상치 여부를 최종적으로 관리할 수 있다.

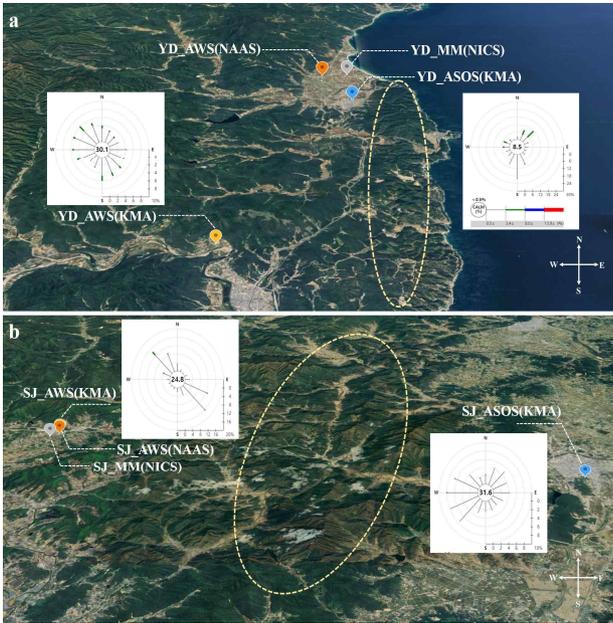


그림 4. 지형적 특성 및 풍배도: a. 영덕, b. 상주
 Fig. 4. Geographical features and wind rose: a. Yeongdeog, b. Sangju

3) 디지털 생육정보 분석

정규식생지수 및 광화학반사지수를 측정하는 광센서는 빛을 기반으로 측정되므로, 비 등의 기상 상황에 따라 값이 변할 수 있다. 따라서 강우가 있는 날의 데이터는 제외하고, 태양의 고도가 가장 높은 11~14시 사이의 데이터를 추출하여 분석에 사용하였다. 정규식생지수는 엽록소가 적색파장(RED)을 흡수하고, 근적외선 파장(NIR; near infrared)을 반사하는 특징을 이용하여, 군락의 피복률과 작물의 생육 상태를 평가하는 지표로 사용된다. 논콩의 정규식생지수는 0에서 1 사이의 값으로 산출되며, 생육 초기 측정면적의 토양 비중이 작물보다 높을수록 식생지수가 낮게 나타났다. 생육이 진행되면서 정규식생지수는 증가하다가, 등숙기에는 엽색이 황화되면서 감소하는 경향을 보였다(그림 5 참조). 또한 영덕의 ‘선유2호’는 성숙기와 정규식생지수 값의 감소시기가 일치하는 경향을 보였다. 콩은 성숙기를 기준으로 1~2주 후에 수확하므로, 이러한 경향은 콩의 수확적기 판정에 활용될 수 있으며, 분석모델 개발을 위해 다양한 지점으로부터 수집되는 센서값, 성숙기, 수확일정 등 기초 데이터의 확보가 요구된다.

광화학반사지수는 잔토펜(Xanthophyll)의 총량과 관련된 지수로, 강한 광 조건, 가뭄, 질소결핍 등 환경변화에 민감하게 반응하여 광합성 효율과 스트레스를 평가하는 지표로 사용된다[17]. 논콩의 PRI 지수를 분석한 결과 영덕에서는 10월 9일 이후 급격히 감소하는 경향을 보였는데(그림 6 참조), 이는 등숙으로 잎이 떨어지는 등 군락 특성(크기 또는 구조)의 변화로 센서값의 측정에 영향을 미친 것으로 보인다.

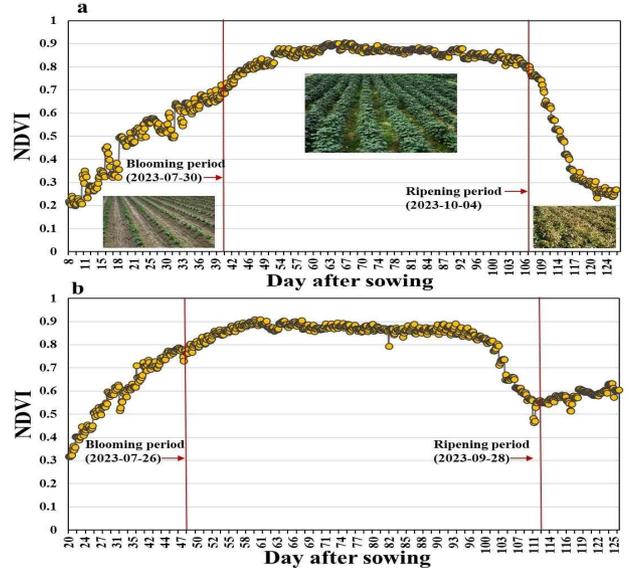


그림 5. 정규식생지수(NDVI) 모니터링 결과: a. 영덕, b. 상주
 Fig. 5. The monitoring results of NDVI value: a. Yeongdeog, b. Sangju

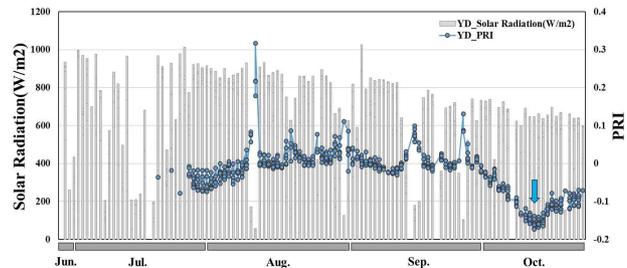


그림 6. 영덕 재배포장의 광화학분석지수(PRI) 모니터링 결과
 Fig. 6. The monitoring results of PRI value in Yeongdeog

태양에 잎이 노출되면 엽온은 대기 온도보다 높아지지만, 증산작용으로 기공이 열리면 엽온이 낮아진다. 또한 과도한 증산작용은 작물의 수분 스트레스를 유발할 수 있다. 논콩 시험포장의 엽온도 분석 결과, 영덕은 -12.5 ~ 14.1 범위로, 상주는 -6.4 ~ 5.8의 범위로 지역별 온도범위에 차이를 보였다. 엽온이 대기 온도보다 낮으면 증산작용이 감소된 상태이며, 반대로 온도 차가 크면 증산량이 많아져 뿌리를 통해 흡수된 토양수분이 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

생육센서의 현장적용 결과, 정규식생지수(NDVI)는 작물의 생육단계와 등숙기 확인에 유용했으나, 광화학반사지수(PRI)와 엽온도(IRT)는 작물생육과 환경요인 간의 연관성을 확인하기 어려워 관리에 활용되지 않았다. 이는 센서 측정 시 작물 군락의 형태나 구조가 센서값에 영향을 미친 것으로 보인다. 생육특성 조사에서도 병해, 충해, 도복 등 특이 사항이 관찰되지 않았고, 장마와 가뭄이 발생하였으나 최종적으로 작물 생육에 미치는 영향은 적었다.

본 연구에서 평균적인 생육상황을 보이는 군락을 대상으로 생육센서를 설치하였으나, 반복 없이 단일로 수행되어 측정된

생육지수의 값이 전체 시험포장을 대표한다고 보기 어렵다. 또한 센서 측정면적 내 작물의 밀도 차이가 식생지수에 영향을 미칠 수 있으므로 값을 비교 및 해석할 경우 개체수 또는 재식밀도 등을 고려해야 한다. 또한 센서값 해석을 위해서는 재배관리의 표준화와 생육조사가 필수적이다. 고정형 센서는 특정 측정 면적의 생육 값을 반영하므로, 소규모 연구에 적합하며, 대단위 면적에서는 무인기에 센서를 부착하여 전체 군락의 생육정보를 수집하고, 재배 작물의 생육특성 조사(개화기, 성숙기 등)를 병행하여 측정된 센서 값을 검증하고 해석해야 할 것이다.

4) 노지환경 토양수분 모니터링

기상환경은 토양수분 변화 등 작물 생육에 밀접한 영향을 미치므로, 토양수분함량, 토양장력, 지하수위 센서를 이용해 논콩 포장의 토양수분을 모니터링하였다. 토양수분과 장력은 강수량에 크게 영향을 받았으며, 재배 기간(6~10월) 동안 총 강수량은 영덕 694 mm, 상주 1,261 mm로, 연간 강수량의 70~80%에 해당하는 것으로 나타났다. 강수량이 증가하여 수분 함량이 높아지면 토양이 포화상태에 이르러 토양장력은 0에 가깝게 유지되는 것으로 나타났다. 반면, 무강우일수가 지속되거나, 증발 또는 배수시스템으로 인해 토양 내 수분이 배출되면 토양 내 수분함량과 장력은 점차 감소하는 것으로 확인되었다(그림 7~8 참조).

토양수분 중 포장용수량과 위조점은 관개시점의 설정과 식물의 유효수분 평가에 중요한 요인이다(Grewal et al., 1990). 포장용수량(Field moisture capacity)은 작물 재배에 적합한 토양수분으로, 토양이 강우 등 수분으로 포화된 후 중력에 의해 배수된 상태를 의미하며, 토양 시료 채취와 실험을 통해 포장용수량을 산출할 수 있다. 또한 포장용수량은 일반적으로 지하수위가 낮고 투수성이 중간인 포장에서 강우 또는 관개 1일 후의 수분 상태로 표현된다. 10 mm 이상의 강

우를 대상으로, 1일 후의 토양수분함량과 장력의 평균값을 확인한 결과, 영덕은 38.0%/−0.1 kPa, 상주는 35.4%/−0.9 kPa로 나타났다.

위조점(Wilting point)은 작물 생육에 필요한 최소한의 수분상태로, 하엽의 위조현상이 발생하는 상태를 초기위조점, 수분공급 후 작물의 생육이 회복되지 않는 상태를 영구위조점으로 정의한다. 본 실험은 자연강우만으로 논콩을 재배하여 위조점을 정확히 확인하기 어려운 한계점이 있었다. 그러나 우리나라 기후의 특성상 장마 후 무강우와 폭염으로 가뭄조건이 발생할 수 있으며, 현장의 데이터 모니터링을 통해 가뭄조건에서의 토양장력 및 수분함량 값을 확인하였다. 작물의 위조계수(Wilting coefficient)는 영구위조점 상태의 토양 내 수분함량으로 약 1,500 kPa의 수분장력에서 중량수분함량을 의미한다고 보고하였다[11]. 따라서 적습(0 ~ −50 kPa), 초기가뭄(50 ~ −500 kPa), 가뭄(−1500 kPa 이상) 등급으로 구분하여 토양수분함량 및 장력을 모니터링 하였다. 7월 중순부터 8월 중순까지 무강우가 계속되면서 시험포장에 가뭄 현상이 발생한 것으로 확인되었다.

영덕은 8월 1일부터 8월 8일까지 8일 동안 무강우가 지속되었으며, 토양장력(수분함량)은 −1,031.0 kPa(17.8%)까지 감소하였다. 상주는 7월 29일부터 8월 6일까지 9일간 무강우일수가 계속되었고, 토양장력(수분함량)은 −907.2 kPa(22.7%)까지 감소하였다. 9월 6일부터 12일까지 7일간 무강우가 이어지며, 토양장력(수분함량)은 −418.4 kPa(22.3%)까지 감소하여 초기가뭄 상태가 발생하였다. 그러나 논콩의 재배관리 및 생육 조사에서 위조현상 등 작물 생육에 영향을 미치는 현상이 관찰되지 않았다. 따라서 토양장력 센서값에 의해 산출되는 가뭄 등급은 위조점으로 활용되기는 어려우며, 센서 값 검증을 위해 실제 작물의 생육 상태 확인이 필요하다.

지하수위는 토양 내 지하수의 상부 지점을 의미하며 지표면에서 지하수까지의 깊이로 측정된다. 이는 토양 환원층의

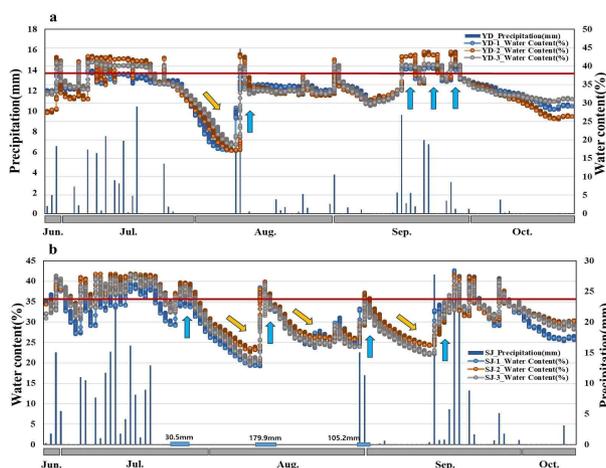


그림 7. 토양수분 모니터링 결과: a. 영덕, b. 상주
 Fig. 7. The monitoring results of water content value: a. Yeongdeog, b. Sangju

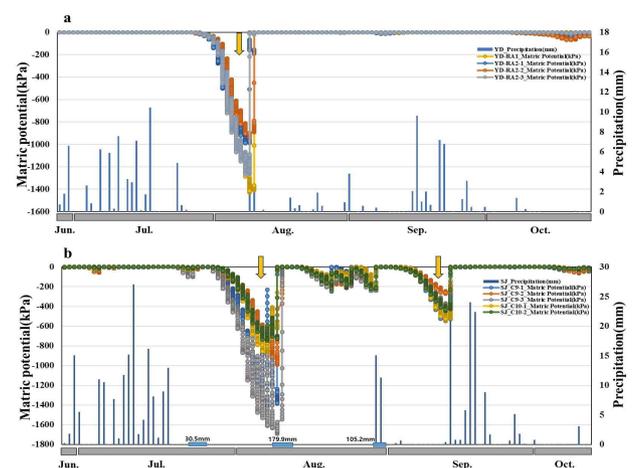


그림 8. 토양장력 모니터링 결과: a. 영덕, b. 상주
 Fig. 8. The monitoring results of matric potential value: a. Yeongdeog, b. Sangju

깊이와 관련이 있으며, 환원층은 지하수위가 영향을 미치는 구간에서 형성된다[16]. 지하수위 모니터링 결과, 강우로 지하수위가 상승하고, 무강우나 지하배수로 인해 수위가 감소하는 패턴이 반복적으로 확인되었다(그림 9 참조). 영덕 시험포장의 지하수위는 65 cm로 높아, 장마철에 물이 지표면 근처에 머무르며 습해가 발생할 가능성이 있다. 따라서 토양의 과습 상태가 지속되면 뿌리 생장에 영향을 미칠 수 있어 적절한 배수 관리가 필수적이다. 상주 시험포장의 지하수위는 93 cm로, 비가 많이 오는 경우 물이 땅속으로 깊이 스며들어 지표면에 물이 고일 가능성이 적어 과습 피해가 적지만, 가뭄 시에는 표토가 건조해질 수 있으므로 발작물 재배시 적절한 관수가 필요하다.

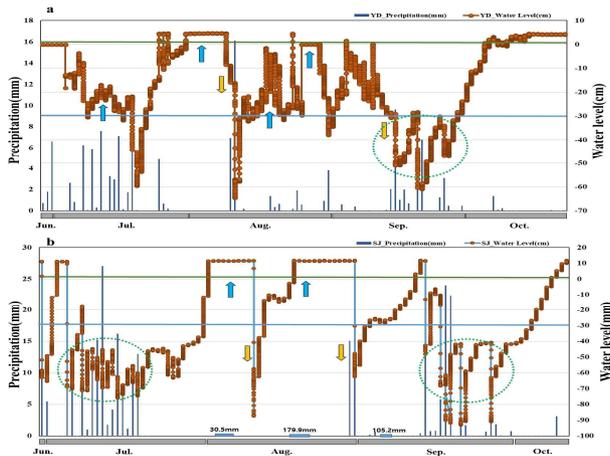


그림 9. 지하수위 모니터링 결과: a. 영덕, b. 상주
 Fig. 9. The monitoring results of water level value: a. Yeongdeog, b. Sangju

토양수분 모니터링을 위한 센서의 현장적용성을 평가한 결과, 토양수분 및 장력센서는 현장에서 실시간으로 토양의 수분 상태를 파악할 수 있었으나, 센서가 토양 표면에 가까울수록 값의 변화가 큰 것으로 확인되었다[18]. 따라서 센서 선정, 보정, 설치위치(깊이) 등을 데이터 수집 목적에 맞게 설정하는 과정이 필요하다. 최종적으로 장마로 인한 토양의 과습 상태는 토양수분함량으로 확인할 수 있었으며, 무강우로 인한 가뭄은 토양장력 분석을 통해 추정이 가능한 것으로 확인되었다. 또한 지면으로부터 지하수까지의 깊이인 지하수위를 파악하여 관수시기 결정에 활용될 수 있다.

최종적으로 토양수분의 관리 기준은 재배지(논·밭) 및 적용된 기술에 따라 다르게 설정될 수 있다. 토양의 배수등급이 불량에 해당하며, 배수 기반이 없는 논인 경우 가뭄에 의한 영향보다 습해의 영향이 크다. 따라서 과습 상태의 발생과 지속성을 주요 관리 기준으로 설정하여야 하며, 배수 기반이 없는 밭 재배의 경우 과습 피해뿐만 아니라 무강우에 따른 가뭄 등의 영향도 함께 관리되어야 한다. 또한 토양특성별 수분관리 기준의 설정을 위해 다양한 토성의 모니터링 데이터가 다년차로 확보되어야 하며, 토양 특성별 수분 변화가 콩 수량에

미치는 영향도 함께 분석되어야 한다.

5) 식량작물 재배를 위한 노지환경 모니터링

노지작물 재배를 위한 모니터링 기술은 환경 및 생육 분야 별로 연구·개발되고 있다. 벼의 생육·생리 상태를 비파괴적 및 연속적으로 탐지하기 위한 원격탐사 기반센서(정규식생지수, 광화학반사지수)를 설치하고, 작물의 이상 상태를 모니터링 하기 위해, 작물의 표준 생육정보와 비교한 상대적인 생육을 관찰하였다[19]. 적정 관개시스템 운영을 위한 토양수분의 공간적 변이성을 고려하고, APKAN 모델을 활용한 토양수분예측을 통해 배추밭의 토양수분변화를 모니터링하였다[20]. 농업 가뭄 모니터링 체계 구축을 위해 가뭄 지역에 토양센서를 설치하여, 실제 토양의 수분을 확인하였고, 드론을 활용하여 토양온도와 정규식생지수를 산출하고, 작물의 작황 상태와 토양온도의 상관관계를 분석하였다[21]. 기상 및 토양수분 등 농업환경 모니터링 시스템 구현을 위한 무선센서 네트워크 및 플랫폼(앱) 개발연구를 수행하였다[22],[23].

위와 같이 노지환경 모니터링을 위해 요소 기술별 심층 연구가 수행되고 있으나, 농가실증 등 현장 보급을 위한 요소기술의 투입은 단일연구로 제한되어 통합적인 재배관리를 위한 모니터링 사례연구는 부족한 실정이다. 따라서 개발되는 요소 기술들을 현장에 적용하는 실증 연구의 지속적 수행이 필요하며, 농가 현장에 적용할 수 있는 스마트 농업기술이 도출되어야 한다. 또한 이를 패키지화하여 작물 또는 재배포장에 적합한 노지 스마트팜 체계를 구축하여야 하고, 지속적인 운영 및 관리를 위해 노지 스마트팜 특성에 맞는 모니터링 방법 및 요소 기술별 활용 사례 등이 확립되어야 할 것이다.

3-2 노지 스마트팜 관리를 위한 메타데이터 발굴

논콩 재배현장에서 수집되는 정보는 데이터와 메타데이터로 구분되며, 센서 값 해석을 위한 센서설치·관리조건, 생육조사, 재배양식 등은 메타데이터로 도출하였다(표 5 참조).

센서 활용시 필수적으로 수집되어야 할 메타데이터는 ‘설치위치’로 관리를 위해 ‘위도, 경도, 고도’의 형태로 기록되어야 한다. 기상 데이터의 필수 메타데이터는 설치 방향, 높이, 센서 측정 주기로, 이는 센서의 정상설치 여부(햇빛에 의한 영향을 최소화하기 위해 센서부를 북쪽에 위치하게 설치), 데이터 측정범위(1.5 m 높이의 풍속, 풍향), 일조시간 변환(1분 간격으로 측정하며, 일사량이 120 W/m² 이상인 경우 일조시간으로 간주)에 사용된다.

생육 데이터는 측정 항목에 따라 센서와 인력으로 구분되며, 개체/군락의 측정 범위는 센서의 설치조건에 따라 달라지므로 설치 높이(1.5 m, 작물의 최대 성장 높이를 고려)와 각도(60°) 등의 메타데이터 수집은 필수적이다. 생육 센서의 설치 위치는 작물 군락의 평균적인 생육 상황을 대표하는 곳을 선정하여야 하며, 생육 조사시 작물이 손상되어 센서 측정값에 영향을 미칠 수 있으므로 조사위치를 분리하여야 한다.

표 5. 논콩 재배를 위한 현장데이터 수집항목

Table 5. Collected field data items for paddy soybean cultivation

Scope	Type	Classification
Weather	Sensor data	Solar radiation, Precipitation, Wind direction, Wind speed, Gust speed, Air temperature, Vapor pressure, Atmospheric pressure, Relative humidity
	Meta data	Installation location(Latitude, Longitude, Elevation), Installation height, Installation direction, Sensing period
Plant growth	Sensor data	NDVI, PRI, IRT
	Meta data	Installation location, Installation height, Installation angle, Measurement range
	Field Survey data	Seeding time, Emergence time, Flowering date, Maturity date, Emergence rate, Number of hills, Height of first pod, Plant height, Stem height, Node number, Stem diameter, Branch number, Number of pod, Seed number, One hundred seed weight, Grain weight, Grain yield
Soil moisture	Meta data	Project number, Cultivation year, Cultivation area, Crop type, Variety name, Seeding method, Planting distance, Planting density, Amount of applied fertilizer, Pest control and weeding, Irrigation date
	Sensor data	Water content, Matric potential, Water level
Soil moisture	Meta data	Installation location, Burial depth, Burial direction, Soil texture, Sensor length, Above-ground length of the sensor

논콩 파종 후 센서를 설치하는 경우, 출현에 영향을 미칠 수 있으므로 출현이 확인되는 20일 이후인 3분엽기에 설치하여야 할 것이다. 또한 생육데이터의 정확한 해석을 위해 작물 파종방법, 재식거리/밀도, 관수일자 등 재배관리와 농작업 정보도 메타데이터로 관리·수집되어야 한다.

토양수분 데이터는 센서 매설 깊이와 방향에 따라 값이 달라질 수 있으므로, 설치위치(두둑), 매설깊이(지표면으로부터 15 cm 아래) 및 방향(수직, 수평)은 메타데이터로 확보해야 한다. 지하수위는 센서 길이와 지면 노출 길이를 메타데이터로 기록하여 실제 지하수위 값 보정에 활용해야 한다.

최종적으로 현장의 메타데이터는 ‘배치도(그림 10 참조)’로 정리되어, 시험설계와 센서(데이터 로거) 정보를 직관적으로 제시해야 한다. 센서 배치도는 시험설계 및 기기 투입 현황 파악, 포장별 센서값 해석에 유용하게 활용될 것이다. 또한 작성된 배치도는 센서 데이터와 함께 보관 및 관리되어야 한다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 스마트농업기술을 기반으로 노지 스마트팜 체계를 구축하고 기술별 현장 적용성을 종합적으로 평가하였다. 시험포장의 토성 및 배수등급을 분석하여 암개배수 기술 적용을 위한 토양특성을 확인하였고, 배수시설 도입 후 활용 방법을 제시하였다. 기상 센서를 설치하여 재배 현장의 미기상 자료를 수집하고, 시험지역 인근의 관측 지점별 경향 분석을 통해 지형적 요인이 데이터에 미치는 영향을 확인하였다.

노지 스마트팜 기술을 적용한 결과, 정규식생지수, 광화학 반사지수, 엽온도 센서를 활용하여 논콩의 생육 변화를 효과적으로 모니터링 할 수 있었다. 특히, 생육단계와 스트레스 환경 간의 연관성을 분석함으로써, 스마트 농업기술이 노지 작물의 생육 관리를 체계적으로 지원할 수 있음을 확인하였다.

다만, 일부 생육 센서값이 군락의 형태나 구조에 따라 변동 폭이 큰 문제가 발견되었으며, 이를 개선하기 위한 추가 연구가 필요함을 알 수 있었다. 또한, 토양수분과 장력 센서를 통해 재배기간 동안 토양의 수분 변화와 과습 및 가뭄 상태를 모니터링하였다. 이를 통해 재배 현장의 토양 상태를 실시간으로 확인할 수 있었으며, 이는 스마트팜 기술의 실효성을 높이는 중요한 요인으로 작용하였다. 특히, 가뭄 조건에서 토양 장력 센서의 활용은 유용했으나, 위조점 평가에는 한계가 있었으며, 이를 보완하기 위해 실제 작물의 생육 상태와의 연계 분석이 필요하다는 결론에 도달하였다.

노지 스마트팜 구축을 통해 스마트농업 기술의 현장 적용성을 실증적으로 확인한 결과, 출장소에 구축된 스마트농업 기술의 수준은 1세대로, 현장 데이터 수집과 모니터링을 통해 작물의 생육환경 및 농작업 지원을 위한 정보수집이 가능함을 확인하였다. 이는 향후 노지 스마트팜 운영과 대단위 면적로의 확대에 유용한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 스마트농업 기술이 농업의 효율성 향상과 생산성 증대에 기여할 가능

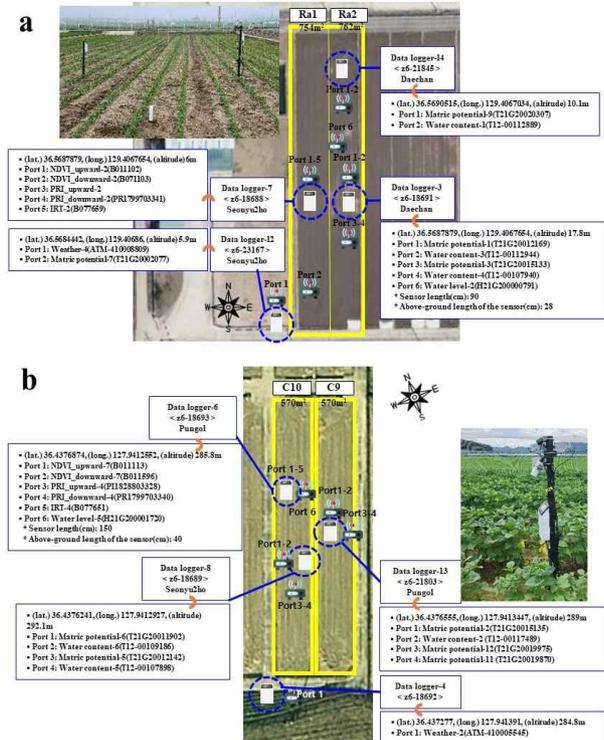


그림 10. 시험포장 센서 배치도: a. 영덕, b. 상주
Fig. 10. The sensor layout: a. Yeongdeog, b. Sangju

성이 큼을 시사한다. 앞으로 다양한 작물과 환경에 맞춘 노지 스마트팜 기술의 적용 연구가 계속 이루어져야 할 것이다. 또한 센서로부터 수집되는 데이터는 측정 면적의 환경 및 작물에 따라 변화되므로, 지역 또는 작물별 재배관리를 위한 솔루션 개발을 위해서는 일관되고 장기적인 데이터 확보가 필수적이다. 또한 분야별 현장 데이터 분석을 통해 실효성 있는 활용 사례를 발굴하고, 적용 범위를 확대해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ017264012024)의 지원으로 수행된 결과입니다.

참고문헌

- [1] C.-J. Chae and H.-J. Cho, "Smart Fusion Agriculture Based on Internet of Thing," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 7, No. 6, pp. 49-54, December 2016. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2016.7.6.049>
- [2] H.-J. Cho and K. Jeong, "A Study on the Connective Validity of Technology Maturity and Industry for Core Technologies Based on 4th Industrial Revolution," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 10, No. 3, pp. 49-57, March 2019. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2019.10.3.049>
- [3] J.-M. Kim and W. Chung, "Proliferation of Smart Agriculture through Advanced ICT Technology," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 18, No. 4, pp. 117-122, August 2018. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.4.117>
- [4] J.-Y. Lee and B.-M. Kim, "Growth Environment Monitoring System for Open-Field Smart Farms Using Big Data Model," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 28, No. 1, pp. 47-53, January 2024. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2024.28.1.47>
- [5] J. Y. Byeon, Analysis on the Status and Future Development of Smart Farming Projects, National Assembly Budget Office, Seoul, 31-9700486-001958-01, June 2022.
- [6] Korean Statistical Information Service. Investigation of Agricultural Area of Korea [Internet]. Available: <https://kosis.kr/search/search.do>
- [7] J.-G. Lee, S.-P. Kim, and S.-J. Bae, "The Present and Future of Multi-Purpose Utilization Technology," *Rural Resources*, Vol. 58, No. 3, pp. 37-43, August 2016.
- [8] D. Kwon, W.-G. Sang, S. Chang, W. Im, H. Bak, J. Lee, and J.-I. Cho, "Estimation of Rice Canopy Height Using Terrestrial Laser Scanner," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 25, No. 4, pp. 387-397, December 2023. <https://doi.org/10.5532/KJAFM.2023.25.4.387>
- [9] W.-G. Sang, J.-H. Kim, J.-K. Baek, D. Kwon, H.-Y. Ban, J.-I. Cho, and M.-C. Seo, "Detection of Drought Stress in Soybean Plants Using RGB-Based Vegetation Indices," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 23, No. 4, pp. 340-348, December 2021. <https://doi.org/10.5532/KJAFM.2021.23.4.340>
- [10] K.-Y. Jung, E.-S. Yun, C.-Y. Park, J.-B. Hwang, Y.-D. Choi, S.-H. Jeon, and H.-A. Lee, "Variation of Soil Physical Characteristics by Drainage Improvement in Poorly Drained Sloping Paddy Field," *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, Vol. 45, No. 5, pp. 704-710, October 2012. <https://doi.org/10.7745/kjssf.2012.45.5.704>
- [11] Y. Choi, M. Kim, Y. Kim, J. Jeon, and M. Seo, "Spatial Variability of Soil Moisture and Irrigation Scheduling for Upland Farming," *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 58, No. 5, pp. 81-90, September 2016. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2016.58.5.081>
- [12] Rural Development Administration. Agricultural Technology Portal [Internet]. Available: <https://www.nongsaro.go.kr>
- [13] Rural Development Administration, Agricultural Science Technology Standards for Investigation of Research, Author, Suwon, 11-1390000-003149-01, October 2012.
- [14] B. Jang, S. Kang, R. Kim, M. Kim, Y. Kim, K. Song, ... and H. Cho, Methods of Soil Chemical Analysis, National Institute of Agricultural Sciences, Suwon, 11-1390802-000282-01, December 2010.
- [15] National Geographic Information Institute. The National Atlas of Korea [Internet]. Available: <http://nationalatlas.ngii.go.kr>
- [16] S. Y. Kong, "Efficient Use of AWS Data for Determining the Disaster Prevention Performance Objectives," in *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, Busan, p. 221, May 2022.
- [17] I. Filella, A. Porcar-Castell, S. Munné-Bosch, J. Bäck, M. F. Garbulska, and J. Peñuelas, "PRI Assessment of Long-Term Changes in Carotenoids/Chlorophyll Ratio and Short-Term Changes in De-Epoxidation State of the Xanthophyll Cycle," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 17, pp. 4443-4455, 2009. <https://doi.org/10.1080/01431160802575661>
- [18] J. K. Kim, H. Kim, K.-J. Kang, and J. Kim, "Comparison of Soil Moisture Changes Based on the Installation Position of Soil Moisture Sensors in the Korean Orchard Field Soils," *Journal of Bio-Environment Control*, Vol. 33, No. 2, pp.

107-113, April 2024. <https://doi.org/10.12791/ksbec.2024.3.2.107>

- [19] H. Kim, H.-D. Moon, J.-H. Ryu, D.-W. Kwon, J.-K. Baek, M.-C. Seo, and J. Cho, "Crop Monitoring Technique Using Spectral Reflectance Sensor Data and Standard Growth Information," *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 37, No. 5-1, pp. 1199-1206, October 2021. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.5.1.29>
- [20] M.-Y. Kim and Y.-H. Choi, "Case Study on Optimal Irrigation Technology for Open-Field Smart Farming: Optimal Soil Moisture Management Using Sensing and Modeling," *Rural Resources*, Vol. 58, No. 4, pp. 30-37, November 2016.
- [21] G.-W. Ham, J.-M. Lee, K. H. Bae, and H.-G. Park, "A Study on Agricultural Drought Monitoring Using Drone Thermal and Hyperspectral Sensor," *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 22, No. 3, pp 107-119, September 2019. <https://doi.org/10.11108/KAGIS.2019.22.3.107>
- [22] Y.-C. Lee, S.-E. Jo, and C.-H. Oh, "Implementation of Crops Monitoring System Using Wireless Sensor Networks," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 324-331, August 2008.
- [23] J. K. Park and J. Kim, "Agricultural Environment Monitoring System to Maintain Soil Moisture Using IoT," *Journal of the Korea Internet of Things Society*, Vol. 6, No. 3, pp. 45-52, September 2020. <https://doi.org/10.20465/KIOTS.2020.6.3.045>



이선혜(Seon-hye Lee)

2012년 : 전북대학교 생활과학과 (학사)
 2014년 : 전북대학교 대학원 (이학석사)
 2020년 : 전북대학교 대학원 (이학박사)

2022년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사
 ※ 관심분야 : 스마트농업, 스마트팜, 빅데이터, 인공지능 등



배희수(Huisu Bae)

2007년 : 충남대학교
 생물환경화학학과(학사)
 2014년 : 충남대학교 대학원
 (농학석사)

2012년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사
 ※ 관심분야 : 스마트농업, 재배생리, 토양환경 등



전용희(Yong-Hee Jeon)

1993년 : 경희대학교 유전공학과 (학사)
 1995년 : 경희대학교 대학원 (이학석사)
 1997년 : 경희대학교 대학원 (박사수료)

2016년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
 ※ 관심분야 : 작물육종, 스마트농업, 온난화대응 연구 등



조준현(Jun-Hyeon Cho)

1990년 : 영남대학교 농학과 (학사)
 1992년 : 영남대학교 대학원 (농학석사)
 2001년 : 영남대학교 대학원 (농학박사)

2001년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
 ※ 관심분야 : 스마트농업, 디지털육종, 빅데이터, 인공지능 등



박영은(Young Eun Park)

1993년 : 대구대학교 원예학과 (학사)
 1996년 : 강원대학교 대학원 (농학석사)
 2003년 : 강원대학교 대학원 (농학박사)

1992년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
 ※ 관심분야 : 식량작물 품종 개발(벼, 감자), 스마트농업 등



강현중(Hyeon Jung Kang)

1989년 : 서울대학교 농학과 (학사)
 1991년 : 서울대학교 대학원 (농학석사)
 1996년 : 서울대학교 대학원 (농학박사)

2005년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
 ※ 관심분야 : 디지털육종, 빅데이터, 스마트농업, 인공지능 등



이영훈(Yeong-Hoon Lee)

2004년 : 경북대학교 농생물학과 (학사)
 2006년 : 경북대학교 대학원 (석사)
 2016년 : 경북대학교 대학원 (박사)

2006년~2020년: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사
 2020년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
 ※ 관심분야 : 스마트농업, 빅데이터, 인공지능, 디지털육종 등



상완규(Wan-Gyu Sang)

2005년 : 서울대학교 식물생산과학부
(학사)

2015년 : 전북대학교 대학원
(농학석사)

2020년 : 전북대학교 대학원
(농학박사)

2011년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사
※ 관심분야 : 스마트농업, 스마트팜, 빅데이터, 인공지능 등



이지윤(Ji Yoon Lee)

2000년 : 충북대학교 농학과 (학사)

2014년 : 충북대학교 대학원 (석사)

2017년 : 충북대학교 대학원 (박사)

2005년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관
※ 관심분야 : 스마트농업, 스마트팜, 빅데이터, 인공지능 등



김정태(Jung Tae Kim)

1997년 : 건국대학교 농학과 (학사)

1999년 : 건국대학교 대학원
(농학석사)

2015년 : 건국대학교 대학원
(농학박사)

2005년~현 재: 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사
※ 관심분야 : 스마트농업, 발농업생산성, 작물기능성 등



이지은(Ji-Eun Lee)

2010년 : 전남대학교 응용식물학부
(학사)

2012년 : 전남대학교 대학원
(이학석사)

2020년 : 충남대학교 대학원
(박사수료)

2014년~현 재: 농촌진흥청 기술협력국 농업연구사
※ 관심분야 : 빅데이터, 식물유전체정보 등