

Introduction of a Farm-Scale Weather Information Platform Based on the Digital Climate Model: Application in Chungcheongbuk-do

Hyeon-Ji Yang*, Hyun-Jin Roh*, Mun-Il Ahn**

*Researcher, Agro-environment Research Institute, Epinet Co., Ltd, Anyang, Korea

**Institute Director, Agro-environment Research Institute, Epinet Co., Ltd, Anyang, Korea

[Abstract]

Abnormal weather caused by climate change has led to various challenges, including sudden weather disasters, increased frequency of pests and diseases, and changes in their occurrence patterns. The Digital Climate Model (DCM) was designed to address these issues. DCM utilizes topo-climatology models, high-resolution spatial data, and various forecasting models in the agricultural field to visually deliver essential information for agriculture. This paper introduces the "My Farm e-Environment Information" platform, which was built in Chungcheongbuk-do using GDAL-based technology for creating DCMs. This platform provides high-resolution farm-level weather information and crop-specific disaster risk alerts for the Chungcheongbuk-do region. This platform aims to support scientific digital farming management for farmers in the Chungcheongbuk-do region and provide digital monitoring technology for the area.

▶ **Key words:** Digital Climate Model (DCM), Topo-climatology Model, GDAL, Farm-Scale, Disaster Alert, Smart Agriculture

[요 약]

기후변화로 인한 이상기후는 급발성 기상재해와 병해충 발생 빈도 증가, 발생 패턴의 변화 등 다양한 문제를 초래하고 있다. 전자기후도는 이러한 문제에 대응하기 위한 기술로 고안되었다. 전자기후도는 소기후 추정 모형과 고해상도 공간 정보, 다양한 농업 분야의 예측 모형을 활용하여 농업에 필요한 정보를 시각적으로 제공한다. 본 논문에서는 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library) 기반의 전자기후도 제작 기술을 활용해 충청북도에 구축한 사례인 '내 농장 e-환경정보' 플랫폼을 소개한다. 이 플랫폼은 충청북도 지역을 대상으로 농장 규모의 고해상도 날씨 정보와 함께 작목별 재해 위험 정보와 재해 위험 알람을 제공한다. 이 플랫폼을 통해 충북 지역 농가의 과학적 디지털 영농관리를 돕고 충청북도 지역에 대한 디지털 모니터링 기술을 제공하고자 한다.

▶ **주제어:** 전자기후도, 소기후 모형, GDAL, 농장규모, 재해 알람, 스마트 농업

- First Author: Hyeon-Ji Yang, Corresponding Author: Mun-Il Ahn
- *Hyeon-Ji Yang (yanghj@epinet.kr), Agro-environment Research Institute, Epinet Co., Ltd
- *Hyun-Jin Roh (rohjh@epinet.kr), Agro-environment Research Institute, Epinet Co., Ltd
- **Mun-Il Ahn (ahnmi@epinet.kr), Agro-environment Research Institute, Epinet Co., Ltd
- Received: 2024. 10. 11, Revised: 2024. 12. 27, Accepted: 2024. 12. 27.

I. Introduction

최근 농업 현장은 기후변화와 농촌 고령화 및 인구 감소 등 여러 문제를 겪고 있다. 2023년 12월 기준, 우리나라 농가 인구는 208만 9천 명으로 10년 전보다 26.6% 감소했으며, 65세 이상 인구 비율은 52.6%로 고령인구 비율은 매년 증가하고 있다[1]. 같은 해, 한파, 이상저온, 집중호우 등 이상기후로 인한 농작물 피해 면적은 전국 약 14만 ha에 달했다[2]. 특히 봄철 기온 상승으로 과수 개화기가 빨라지면서 봄철 이상저온에 의한 개화기 냉해가 매년 발생하고 있다.

이러한 농업 분야의 환경적·기술적·사회적 문제를 해결하고 지속 가능한 농업을 구현하고자 스마트 농업이 주목받고 있다. 스마트 농업은 첨단 ICT 기술의 도입을 통해 농작물의 생산성과 품질을 향상시키고 소요되는 자원을 최소화하는 농업 형태를 의미한다[3]. 우리나라에서도 스마트 농업에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으나[4, 5], 대부분 시설 원예에 집중되어 있는 실정이다[6]. 국내 농경지 면적의 약 95%는 시설 원예가 아닌 노지이며[7], 이상기후로 야기되는 급발성 기상 재해에 노지 농작물이 더 취약하다는 점을 고려할 때, 노지 농업에 특화된 스마트 농업 시스템이 반드시 필요하다.

전자기후도(Digital Climate Model)는 노지 농업 환경에서 발생하는 재해에 대한 경감 기술로서 기획되었다[8]. 현재 기상청에서는 약 600여 개의 기상관측지점을 운영하고 있으나 관측지점의 지리적 불균형이 존재한다. 기상청에서 제공하는 예보자료 역시 공간해상도 5km 정도로 국지적인 농업 현장의 환경을 모두 반영하기란 어려운 일이다. 특히 우리나라는 지형이 복잡하고 소규모의 집약적 농업 형태가 주를 이루고 있어[9] 소규모 농지 단위에서도 다양한 환경 분포가 존재한다. 이러한 작은 규모에서의 기후를 소기후(small scale climate)라고 하며, 현재까지 소기후를 추정하기 위한 다양한 공간 내삽 기법과 추정 모형이 연구되어 왔다[8, 10]. 전자기후도는 개발된 소기후 추정 모형과 고해상도의 공간 정보를 결합하여 제작되며, 농업에 필요한 기본 날씨 요소부터 작물별 생육, 병해충 위험 등 농업에 필요한 여러 정보를 지도 형태로 담고 있다. 고해상도의 전자기후도를 이용하면 농업 현장의 기후 정보를 정밀하게 추정하고 농장 단위의 맞춤형 정보를 제공할 수 있게 된다.

기후변화가 가속화됨에 따라 병해충 발생 패턴도 변화하고 있으며 침입병해충 피해도 증가하고 있다. 2015년 국내에서 처음 보고된 과수화상병(fire blight)은 사과나

배에서 발생하는 식물 세균 병으로, 치료제가 없어 과수 산업에 큰 피해를 입히는 병이다. 과수화상병은 금지병해충으로 지정되어있으며, 과원 내 발병주율이 5% 이상일 경우 전체 과원을 폐기·매몰하고 2년간 기주 식물의 재배를 금지하고 있다[11]. 2018년부터 2023년 8월까지 과수화상병 피해 면적은 충청북도가 582.2ha로 가장 많았으며[12], 최근 10년간 충북의 사과 재배 면적은 3.5% 감소했다[13]. 2024년 조사 결과, 충북 내 과수화상병으로 인한 공적 방제 농가 중 약 20%의 농가에서 재개원 의사를 밝혔으며, 충북농업기술원 역시 사과 가격 안정화를 위해 폐원 농가에 재개원을 위한 금액을 지원할 예정임을 밝혔다[11]. 이러한 상황에서 충청북도 내 과수화상병 관리 및 예방 방제의 중요성은 더욱 커지고 있다.

본 논문에서는 고해상도의 전자기후도 제작 기술을 적용한 사례로 충북형 농장 규모 날씨 정보 플랫폼인 ‘내 농장 e-환경정보’를 소개한다. 이 플랫폼을 통해 충북 노지 농가에 상세한 농업 환경정보를 제공해 농가의 과학적 디지털 영농 관리를 돕고 병해충 관리의 효율성을 높이고자 한다. 또 충북에서 가장 문제가 되는 과수화상병을 모니터링 할 수 있는 맞춤형 기능을 제공하여 충청북도 지역의 고위험 병해충 대응력을 강화하고자 한다.

II. Preliminaries

1. Digital Climate Model

전자기후도는 농작물에 직접 영향을 미치는 ‘소기후’를 추정하기 위한 모형과 고해상도의 공간 정보를 이용해 제작된 디지털 기후도이다.

1.1 Topo-climatology Model

소기후 추정 모형(Topo-climatology Model)은 각 기상요소에 영향을 미치는 지형적·환경적 요소를 고려하여 상세한 기상을 모의하기 위해 개발되었다. 본 논문에서 소개하는 시스템에서 각 기상요소의 소기후를 추정하기 위해 사용된 기술은 다음과 같다.

일 최고기온은 지역의 고도 및 일사량, 열섬효과 등을 고려하며[14-16], 일 최저기온은 지표면 복사냉각이나 냉기집적효과 등을 고려하여 지역의 상세한 기상을 추정하였다[17]. 일사량은 태양 복사량을 추정하는 대표적인 모형인 Angstrom-Prescott 모델을 이용해 모의할 수 있으며[18], 습도는 IDW(Inverse Distance Weighting) 객관분석기법을 통해 추정할 때 가장 산출 수준이 높았다[19]. 강수량 추

정에는 강수량에 영향을 미치는 여러 지형적 요소를 고려하기 위해 PRISM(Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model)이 주로 이용된다[20].

1.2 Primary products

기본 기후도(Primary products)는 전자기후도 제작의 첫 번째 단계로 기본 날씨 요소를 담고 있는 지도를 말한다. 고해상도의 격자형 기상지도를 제작하기 위해서는 먼저 기상청에서 관측한 종관 관측 기상자료를 기반으로 남한 영역에 대한 기본 기상지도를 생성한다. 이때에는 IDW(역거리가중법)를 이용한다. IDW는 관측 기준점과의 거리에 따라 관측지점 사이 미관측 지점들의 값들을 추정하는 내삽법 중 하나이다[21]. 그다음, 기상요소 별로 연구된 소기후 모형을 적용하여 지형적 효과에 따른 상세 기상을 보정한다. 본 논문에서 소개하는 시스템에서는 최대 30 × 30 m²의 공간해상도를 가지는 고해상도 격자형 지도를 제작하여 이용한다.

1.3 Analytical products

기상은 농작물의 생장 과정 전반에 매우 큰 영향을 미친다. 현재까지 기상을 이용해 작물별 생육단계를 추정하거나 그에 따른 기상위험 혹은 식물 병과 해충의 발생을 예측하는 다양한 모형이 개발된 바 있다[22-25]. 분석기후도 (Analytical products)는 전자기후도 제작의 마지막 단계로 이렇게 연구된 예측 모형을 기본기후도와 여러 농업기후지수에 적용하여 작물 혹은 품종별 농업 관련 정보를 담도록 생산된 지도이다. 제작된 전자기후도는 농업 분야 정책 수립, 재해 대응 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다.

2. GDAL

GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)은 공간 데이터를 처리하는 오픈소스 라이브러리[26]. 벡터, 래스터 등 다양한 형식의 파일을 지원하며 좌표계 및 투영 변환, 리샘플링, 데이터 분석 등 여러 유용한 기능을 수행한다. GDAL 패키지는 Python, Java, C 등의 언어에서 모두 사용 가능해 대규모 공간 데이터를 다루는 프로젝트에서 필수적인 역할을 한다[26, 27]. GDAL을 이용하면 대용량의 래스터 데이터에 대한 다양한 연산 작업이 용이해지므로 농장 단위의 정밀한 고해상도 전자기후도를 효율적으로 제작 및 서비스할 수 있다.

GDAL이 가지는 기능들을 보다 단순하고 직관적인 방법으로 사용할 수 있는 여러 오픈소스 라이브러리가 존재한다. rasterio는 래스터 데이터의 읽기, 쓰기 등 변환 작업

을 도와주며, pyproj는 좌표계의 투영 변환 등에 사용된다. 이 외에도 데이터 분석을 위한 Fiona와 Geopandas, 공간 데이터의 시각화를 위한 MapServer 등의 GDAL 기반 오픈소스 라이브러리가 본 시스템 개발에 사용되었다.

3. Docker

도커는 컨테이너 기반의 가상화 기술을 제공하는 오픈소스 플랫폼이다. 도커의 주요 요소는 이미지와 컨테이너로, 이미지는 애플리케이션 실행에 필요한 코드, 라이브러리, 설정 등을 포함한 템플릿이며, 컨테이너는 이를 기반으로 독립된 환경에서 애플리케이션을 실행한다[28, 29]. 컨테이너는 기존에 사용되는 가상머신(VM)보다 가볍고 시스템 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 도커는 이를 통해 애플리케이션의 개발부터 운영까지 일관성을 유지할 수 있게 해주어 다양한 플랫폼에서 이용되고 있다[29]. 본 시스템 역시 데이터의 종류에 따라 두 개의 데이터 생성 도커 컨테이너로 분리하여 데이터 생성 및 관리를 용이하게 하였다.

III. The Proposed Scheme

본 논문에서는 앞서 소개한 기술들을 이용해 개발된 충북형 전자기후도 기반 날씨 정보 플랫폼인 ‘내 농장 e-환경정보’를 소개한다.

1. Development Framework

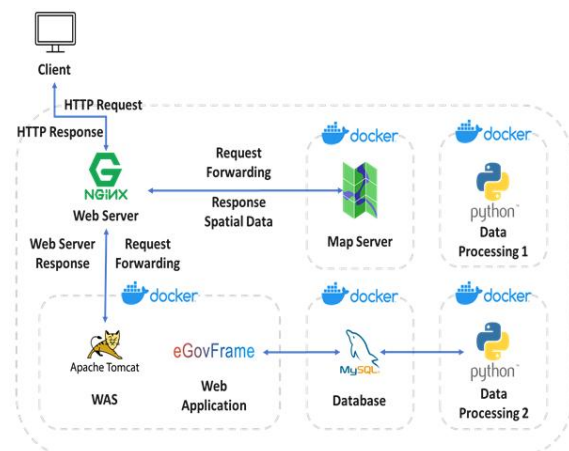


Fig. 1. System Architecture

‘내 농장 e-환경정보’ 시스템을 구성하기 위한 시스템 구조는 Fig. 1과 같다. 사용자가 시스템에 접속하면 Nginx

를 통해 http 요청이 Tomcat으로 전달되고, DB에서 조회한 데이터와 함께 응답 화면이 제공된다. 만약 지도를 표출하는 메뉴라면 MapServer를 활용해 래스터 데이터를 이미지화하여 GIS 클라이언트에서 표시할 수 있도록 한다. 이와 같은 시스템 구조를 위해 Nginx를 제외한 서비스를 총 5개의 도커 컨테이너로 구성하였다(Table 1).

데이터 생성 컨테이너는 시스템에서 표출되는 데이터의 종류에 따라 DataProcessing1과 DataProcessing2로 분리해 효율적으로 데이터를 생성하고 관리할 수 있도록 구성하였다. DataProcessing1은 다양한 래스터 형태의 전자기후도를 생성하며, DataProcessing2는 생성된 전자기후도에서 농장별 좌표 데이터를 추출하여 데이터베이스에 저장하고 농작물 재해 위험에 따른 알림을 발송하는 등의 역할을 한다. 데이터 생성 프로세스는 Python 기반 프로그램으로 구현되었으며, 이는 래스터 데이터의 생성 및 가공을 위해 앞서 설명한 GDAL 기반의 오픈소스 라이브러리를 활용하기 위함이다. 웹 애플리케이션은 Java 기반의 Spring Framework를 사용하는 eGovFramework로 개발되었고, 웹 애플리케이션 서버로는 Apache Tomcat, 데이터베이스로는 MySQL이 사용되었다(Table 2).

Table 1. Roles of Server Containers

Container Name	Container Role
CBDCM	Web Application, WAS
DB	Database
DataProcessing1	Raster data generation
DataProcessing2	Coordinate data extraction, Send disaster risk alerts, etc.
MapServer	Provider raster data as image

Table 2. System Development Environment

System Development Environment	
OS	Window 11
Language	Java
Web Framework	eGovFramework
Database	Mysql 5.7
WAS	Tomcat 9

2. Data Generation

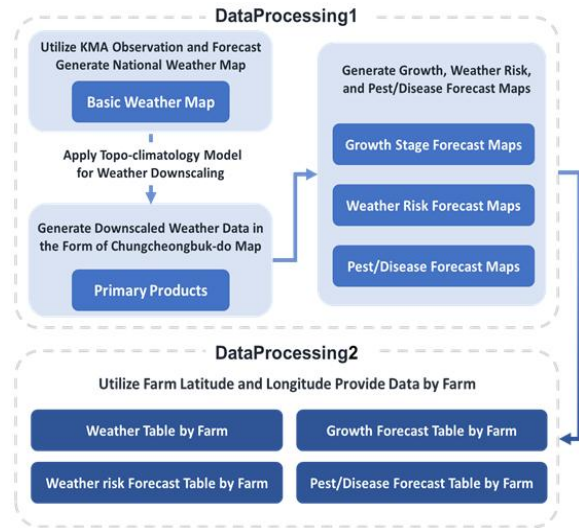


Fig. 2. Data Generation Flow

DataProcessing1에서 전자기후도를 제작하는 과정은 크게 세 단계로 나눌 수 있다(Fig. 2). 먼저 기본 기상지도 생성하는 단계이다. 고해상도의 전자기후도를 제작하기 전, 기상청에서 제공하는 105개 종관 기상관측지점의 기상 자료에 IDW를 적용하여 관측 지점(point) 자료를 남한 영역에 대한 격자형(grided) 자료로 전환하는 작업을 수행한다. 그 다음, 기본 기상지도에 소기후 모형과 고해상도 공간 정보를 적용한 기본 기후도를 제작한다. 이 단계에서는 우리나라의 기후 특성과 지형적 영향 등을 반영하기 위해 기상 요소별로 앞서 언급한 소기후 모형을 적용하여 일 최고기온, 일 최저기온 등 상세화 된 날씨 지도를 생성한다. 생성된 기본 기후도는 분석 기후도 제작을 위한 다양한 농업기후지수 계산에 활용되며, 기본기후도와 농업기후지수지도, 다양한 작물별 예측 모형 등을 결합하여 최종 농업 환경정보를 담은 분석기후도를 제작하게 된다. 분석기후도는 작물별로 크게 생육단계, 기상재해 위험, 병해충 위험 지도로 나눌 수 있다. 재해 위험은 그 정도에 따라 3단계로 나뉘어 표현되는데 기상 위험은 [정상, 주의, 경고], 병해충 위험은 [관심, 경계, 경보]로 표현한다. 제작되는 전자기후도는 최대 30 × 30 m²의 공간해상도를 가지므로 지역 단위보다 상세한 농장 단위의 정보를 제공할 수 있게 된다.

DataProcessing2에서는 DataProcessing1에서 제작한 지도에 대한 데이터 추출 작업을 수행한다. DB에는 각 회원 농가의 농장 정보가 등록되어 있으며, 등록된 농장의 경위도 값, 작목 정보 등을 이용해 각 사용자에게 필요한 기상, 생육, 농작물 재해 위험 정보를 추출해 저장한다.

3. System Implementation and Operation

앞서 설명한 시스템 구조와 데이터 생성 과정을 기반으로, 충북형 농장규모 날씨정보 플랫폼인 '내 농장 e-환경 정보(<https://cbe-map.kr>)'를 구축하였다(Fig. 3). 이 플랫폼에서는 사용자가 일반 사용자인지 관리자인지를 구분하여 권한에 따라 농작물 재해 관리를 위한 다양한 기능을 제공한다(Table 3).

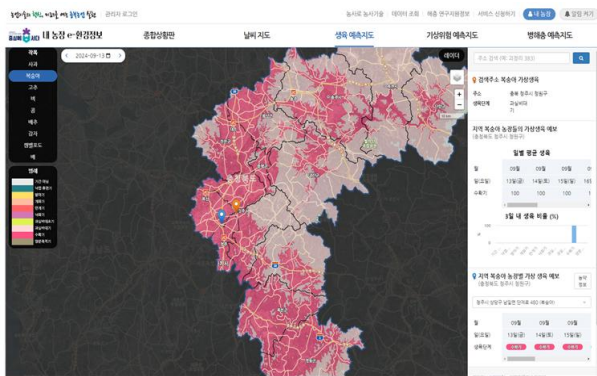


Fig. 3. Main Page of the 'My Farm e-Environment Information'

Table 3. Menu Structure by User Role in 'My Farm e-Environment Information'

Role	Feature	
General User	Map	Weather Maps
		Growth Stage Forecast Maps
		Weather Risk Forecast Maps
		Pest/Disease Forecast Maps
	View	Data View
		Nongsaro Farming Technology
Administrator	Manage	Farmer Information Management
		Farm Information Management
		Service Application Management
	View	Notification Sending History
		Fire Blight Forecast Information
		Fire Blight Outbreak Information

일반 사용자는 웹 페이지에서 전자기후도를 요소별, 날짜별로 조회할 수 있다(Fig. 3). 서비스되는 전자기후도는 5종의 기상 지도와 작목 8종의 생육, 기상 재해위험, 병해충 위험 지도를 포함하며, 오늘로부터 최대 +9일까지의 예측 정보를 제공한다(Table 4). 모든 사용자는 주소 검색을 통해 원하는 지역의 환경정보를 상세하게 조회할 수 있다.

Table 4. Service Digital Climate Model Components

Category		Component
Weather		Maximum Temperature, Minimum Temperature, Rainfall, Relative Humidity, Solar Radiation
Growth Stage		Apple, Peach, Pepper, Rice, Bean, Cabbage, Potato, Campbell Grape
Disaster risk	Weather	Cold, Heat, Drought, Frost, Flood Damage
	Disease	A Total of 14 Diseases by Crop Type
	Pest	A Total of 12 Pests by Crop Type

또한, '데이터 조회' 메뉴에서는 각 지역별 데이터 통계를 조회할 수 있고 충북 지역 농가들의 원활한 농작업을 위한 '농사로 농사기술' 메뉴도 제공한다. 해당 메뉴는 농촌진흥청 농사료(<https://www.nongsaro.go.kr>)에서 제공하는 Open API를 활용한다. '해충 연구지원정보' 메뉴에서는 해충 발생 예측에 주로 사용되는 적산온도를 원하는 지역의 기상, 기준으로 계산할 수 있어 농민과 연구자 모두 쉽게 활용할 수 있다.

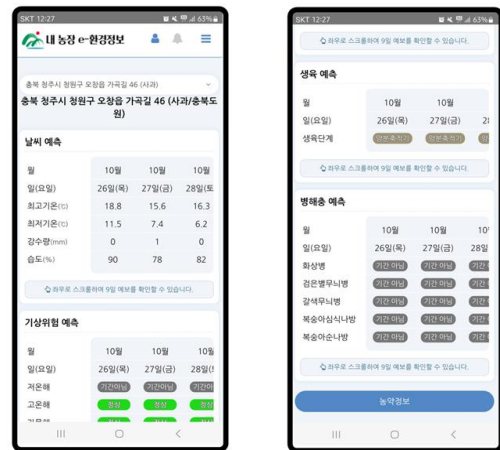


Fig. 4. Mobile Web of the 'My Farm e-Environment Information'

회원 등록된 사용자에게는 웹과 더불어 모바일 웹 서비스도 제공하므로 어떤 환경에서든 내 농장별 환경정보를 편리하게 확인할 수 있다(Fig. 4).

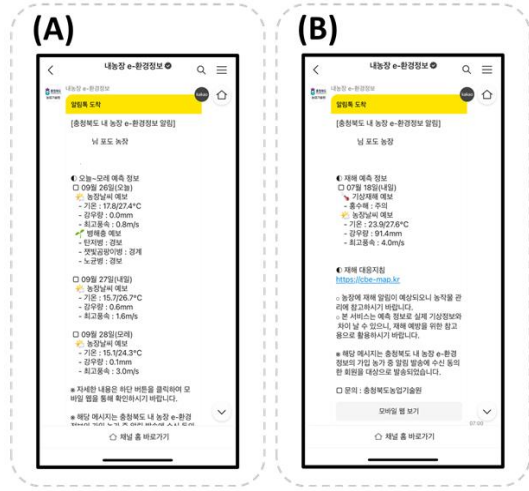


Fig. 5. Notification Examples (A: Regular; B: Irregular)

회원 농가는 웹·모바일 웹 페이지에서 데이터를 확인하는 것 뿐만 아니라 내 농장의 기상 및 재해 위험에 대한 알림 메시지를 제공받을 수 있다(Fig. 5). 알림 켜기를 활성화한 사용자는 정기알림과 수시알림, 두 가지의 알림 메시지를 받게 된다. 정기알림(Fig. 5A)은 주 2회 내 농장의 기상 예보와 2단계(주의/경계) 이상의 기상 및 병해충 위험 예보를 발송한다. 수시알림(Fig. 5B)은 정해진 요일 없이 사용자의 농장에서 2단계(주의/경계) 이상의 재해 위험이 예측되는 경우 발송한다.

발송되는 정기알림과 수시알림 건수 및 집계 내역 등의 통계 정보는 관리자 메뉴에서 확인할 수 있다. 관리자는 관리자 메뉴를 통해 알림 유형, 알림 성공 여부, 기간, 작목 등을 선택하여 내역을 조회하고 지역별로 집계하는 등의 작업이 가능하다. 또한 회원의 농가, 농장 정보를 관리하거나 서비스 신청내역에 대한 관리도 가능하다.

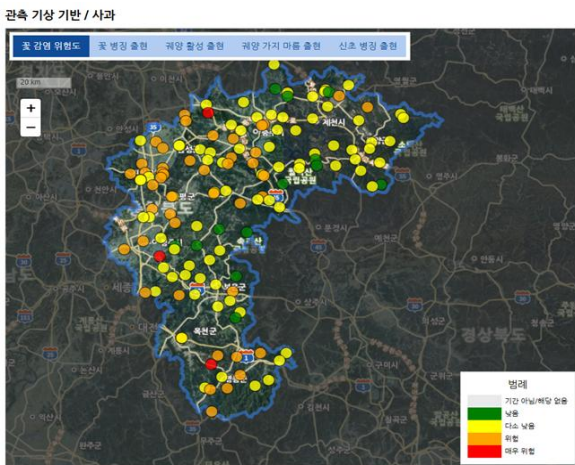


Fig. 6. Fire Blight Forecast Information

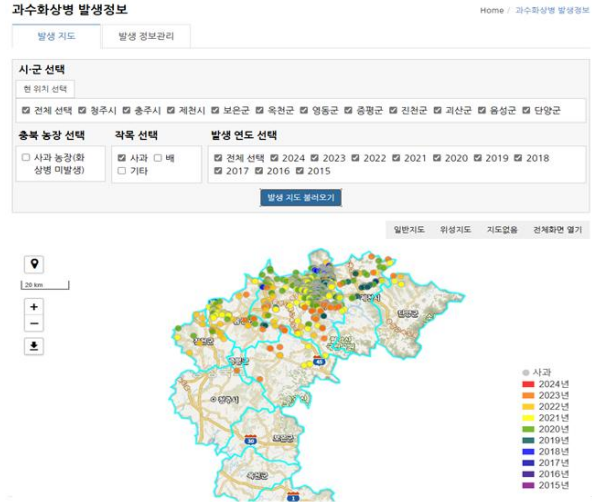


Fig. 7. Fire Blight Outbreak Information

특히 ‘내 농장 e-환경정보’ 시스템의 관리자 메뉴에서는 충청북도에서 발생이 많은 금지병해충인 과수화상병에 대한 관리 기능을 제공한다. ‘과수화상병 예측정보’ 페이지에서는 국내 맞춤형 과수화상병 예측 시스템인 FBcast [30]의 정보를 활용하여 충청북도 지역 내 과수화상병 위험 예측 정보를 표출한다(Fig. 6). 꽃감염 위험도는 사과, 배 개화기동안 발생할 수 있는 과수화상병 꽃감염 위험 상황을 예측해 방제 적기 결정을 지원하며, 병징 출현 예상일 정보는 과수원에서 병징이 나타날 수 있는 시기를 예측해 예찰 시기 결정을 지원한다.

또한 충청북도 전역에서 발생하는 과수화상병 발생 농가 정보를 쉽게 등록할 수 있으며, 등록된 정보를 지도 형태로 표출하여 한눈에 관리할 수 있도록 하였다(Fig. 7). 과수화상병은 전염이 매우 빠르고 발생 시 지역 전체에 큰 피해를 줄 수 있으므로, 본 기능을 통해 체계적인 예찰 및 방제에 도움을 줄 수 있다.



Fig. 8. Number of Active Users Before and After Notification Start

구축된 ‘내 농장 e-환경정보’ 시스템은 2023년 서비스를 시작하여 현재까지 운영중이며, 현재 본 플랫폼에는

16,479명의 회원과 20,198개의 농장이 등록되어 있다. 2024년 4월 16일부터 본 서비스는 알림 메시지 발송을 시작하였으며, 주 2회 1,218건의 정기 알림이 발송되고 있다. 내 농장에 기상 및 병해충 위험이 예측될 시 발송되는 수시 알림을 포함해 현재까지 약 8만 건의 알림이 발송되었다.

사용자는 본 시스템을 통해 내 농장에서 발생할 수 있는 재해 위험을 미리 알고 대응할 수 있으며, 웹/모바일 웹에서 제공하는 전자기후도 정보를 이용해 인근 지역에 대한 정보도 함께 확인할 수 있다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 충북형 전자기후도 기반의 농장 규모 날씨 플랫폼인 '내 농장 e-환경정보'를 소개하였다. 이 시스템은 도커 컨테이너로 분리된 서버 환경에서 GDAL 기반 오픈소스 라이브러리를 이용해 고해상도의 기후 지도를 생산하고 이를 이용한 작목별 생육·기상위험·병해충 예측 정보를 담은 전자기후도를 제작한다. 사용자는 웹/모바일 웹을 통해 내 농장 정보를 조회하거나 내 농장에 대한 재해 위험 알림을 받아볼 수 있다. 관리자는 등록된 농가 및 농장 정보, 사용자에게 전달되는 알림 발송 내역에 대한 통계 정보를 관리할 수 있다. 특히 관리자에게는 과수화상병에 대한 예측 및 발생 정보에 대한 별도의 메뉴를 제공해 충북 지역 내 과수화상병 관리를 용이하게 하였다.

'내 농장 e-환경정보' 플랫폼에서 서비스하는 30m 공간 해상도의 전자기후도는 농촌진흥청 농업기상재해 조기경보 서비스의 소기후 모형 기술을 활용하여 제작되었다. Shim et al. [31]은 이 기술을 기반으로 한 사업이 전국적으로 도입 될 경우 높은 비용-편익 비율(2.2배)을 보일 것이라고 평가한 바 있다. 또한, 농업기상재해 조기경보 서비스 가입 농가 일부를 대상으로 한 설문 조사에서도 60% 이상의 농가가 재해 예방 및 경감에 도움이 된다고 응답하여 서비스의 효과를 긍정적으로 평가하였다[32].

Ahn et al.[33]은 '내 농장 e-환경정보'에서 생산되는 정보에 대한 효율성을 평가한 연구에서 본 플랫폼에서 생산되는 날씨 지도가 기존의 기상 상세화 기술과 비교해 관측 기상 값을 더 정확히 예측하고 있다고 평가하였다. 또한 기상 재해 위험 및 병해충 위험에 대해서도 본 플랫폼이 충북 지역의 주요 재해 위험을 높은 정확도로 예측함을 밝혔다. 연구 결과에 의하면, 2023년 4월 8일부터 13일까지 발생한 사과 저온해 위험에 대한 위험 예측 면적율이

실제 피해 면적율과 정확히 일치하지는 않았으나 피해가 가장 많았던 보은군을 충북에서 2번째로 위험한 시군으로 예측하였다. 특히 충청북도의 경우 과수화상병 관리가 중요한 지역 중 하나인데, 2023년 사과 과수화상병에 대한 병징 출현 예상일이 실제 신고 과원의 병징 발견일과 1일 차이가 나는 것을 확인할 수 있어 농업 현장에서의 재해 위험 예방에 본 플랫폼이 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 예상되었다.

노지 농업 현장에서 발생하는 기후변화, 농업 인구 구조의 변화 등으로 인한 문제는 미래에도 심화될 것으로 예상된다. 이로 인한 이상 기상과 돌발 병해충 및 고위험 병해충의 발생 빈도 역시 높아질 것을 고려하면 농장 단위의 상세화된 기상 정보를 제공하는 시스템의 중요성은 더욱 커질 것이다. 본 논문에서 소개한 '내 농장 e-환경정보'는 충청북도를 중심으로 구축된 사례이지만, 전자기후도 생산을 위한 데이터가 확보되고 지역에 맞춘 기술적 수정이 이뤄진다면 국내외의 다양한 지역에서도 이러한 시스템의 적용이 가능할 것이다. 본 플랫폼은 농장 규모의 재해 위험 정보를 사용자에게 제공하고 서비스 지역에 대한 맞춤형 디지털 모니터링 기술을 제공함으로써 재해 경감 효과와 디지털 영농 관리 경험 확대, 농업 관련 정책 결정을 위한 정보 지원 등의 도움을 줄 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the collaborative research project of the Rural Development Administration (Project No.: RS-2022-RD010279).

REFERENCES

- [1] Statistics Korea, "2023 Census of Agriculture, Forestry, and Fisheries Results," Statistics Korea, Retrieved from https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10301080100&bid=226&tag=&act=view&list_no=430470
- [2] KMA, "2023 Abnormal Climate Report," KMA, pp. 92-101, 2024.
- [3] D. Lee, "Smart Agriculture Technology Trends," BRIC View 2023-T19, pp. 3-7, 2023.
- [4] J. Kim, and J. Han, "Agricultural Management Innovation through the Adoption of Internet of Things: Case of Smart Farm," Journal of Digital Convergence, vol. 15, no. 3, pp. 65-75, Mar. 2013. DOI:

- 10.14400/JDC.2017.15.3.65
- [5] J. Kim, Y. Kim, and J. Kim, "A Design and Implementation for a Realtime Monitoring and Controlling System in the Stockyard," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 14, no. 10, pp. 167-174, Oct. 2009, DOI: 10.9708/jksoci.2009.14.10.167
- [6] G. You, and C. Yeo, "Smart Agriculture," KISTEP, pp. 1-2, 2021.
- [7] K. Song, J. Jung, S. Cho, J. Kim, and S. Shim, "Development of Smart Digital Agriculture Technology for Food Crop Production in Korea-The Path Forward Based on Expert Feedback," *Korean Journal of Crop Science*, vol. 67, no. 1, pp. 27-40, Mar. 2022. DOI: 10.7740/kjcs.2022.67.1.027
- [8] J. Yun, "Agroclimatic Maps Augmented by a GIS Technology," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 12, no. 1, pp. 63-73, 2010. DOI: 10.5532/KJAFM.2010.12.1.063
- [9] K. Hong, M. Suh, D. Rah, D. Chang, C. Kim, and M. Kim, "Estimation of High Resolution Gridded Temperature Using GIS and PRISM," *Atmosphere*, vol. 18, no. 1, pp. 71-81, Mar. 2008.
- [10] D. Kim, S. Kim, J. Kim, and E. Yun, "Establishment of Geospatial Schemes Based on Topo-Climatology for Farm-Specific Agrometeorological Information," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 21, no. 3, 2019. DOI: 10.5532/KJAFM.2019.21.3.146
- [11] H. Ham, Y. Lee, H. Kong, S. Hong, K. Lee, G. Oh, M. Lee, and Y. Lee, "Outbreak of Fire Blight of Apple and Asian Pear in 2015-2019 in Korea," *Research in Plant Disease*, vol. 26, no. 4, pp. 222-228, Dec. 2020. DOI: 10.5423/RPD.2020.26.4.222
- [12] S. Kim, "The Largest Area Affected by Fire Blight in the Last 5 Year is Chungbuk... Damage Equal to 1,500 Soccer Fields," *M-Economy News*, <http://www.m-economynews.com/mobile/article.html?no=40463>, Accessed on Sep. 30, 2024.
- [13] Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, "Cultivation Techniques for Stabilizing Apple Prices in Chungbuk: Go! Go! Go!," Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, <https://ares.chungbuk.go.kr/home/sub.php?menukey=1220&mod=view&no=22802>, Accessed on Sep. 30, 2024.
- [14] J. Regniere, and V. Bergeron, "*BioSIM: A Computer-Based Decision Support Tool for Seasonal Planning of Pest Management Activities. User's Manual*," Canadian Forest Service Info, pp 50, 1996.
- [15] U. Chung, H. Seo, J. Yun, S. Jeon, K. Moon, H. Seo, and Y. Kwon, "Extrapolation of Daily Maximum Temperature in a Mountainous Terrain," *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 45, no. 4, 2009.
- [16] J. Choi, U. Chung, and J. Yun, "Urban-Effect Correction to Improve Accuracy of Spatially Interpolated Temperature Estimates in Korea," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 42, no. 12, Dec. 2003. DOI: 10.1175/1520-0450(2003)042<1711:UCTIAO>2.0.CO;2
- [17] S. Kim, and J. Yun, "A Quantification Method for the Cold Pool Effect on Nocturnal Temperature in a Closed Catchment," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 13, no. 4, pp. 176-184, 2011. DOI: 10.5532/KJAFM.2011.13.4.176
- [18] S. Hyun, and K. Kim, "Assessment of the Angstrom-Prescott Coefficients for Estimation of Solar Radiation in Korea," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 18, no. 4, pp. 221-232, 2016. DOI: 10.5532/KJAFM.2016.18.4.221
- [19] S. Cha, M. Suh, and S. Ryu, "Comparison of objective analysis methods for generating high-resolution grid-based relative humidity data and long-term trend analysis according to geographical characteristics(in Korean)" *Proceedings of the Korean Meteorological Society conference*, vol. 2021, no. 10, pp. 318, Online, Korea, Oct. 2021.
- [20] C. Daly, R. Neilson, and D. Phillips, "A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 33, no. 2, pp. 140-158, Feb. 1994. DOI: 10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2
- [21] S. Kim, H. Lee, S. Park, and S. Oh, "Task Balancing Scheme of MPI Gridding for Large-scale LiDAR Data Interpolation," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 19, no. 9, pp. 1-10, Sep. 2014. DOI: 10.9708/JKSCI.2014.19.9.001
- [22] R. Magarey, R. Seem, J. Russo, J. Zack, K. Waight, J. Travis, and P. Oudemans, "Site-Specific Weather Information Without On-Site Sensors," *Plant Disease*, vol. 85, no.12, pp. 1216-1226, Dec. 2001. DOI: 10.1094/PDIS.2001.85.12.1216
- [23] C. Cesaraccio, D. Spano, R. Snyder, and P. Duce, "Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 126, no. 1-2, pp. 1-13, Nov. 2004. DOI: 10.1016/j.agrformet.2004.03.002
- [24] M. Ahn, W. Kang, E. Park, and S. Yun, "Validation of an Anthracnose Forecaster to Schedule Fungicide Spraying for Pepper," *Plant Pathology Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 46-51, 2008.
- [25] P. Shi, F. Ge, Y. Sun, and C. Chen, "A simple model for describing the effect of temperature on insect developmental rate," *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 14, no.1, pp. 15-20, 2011.
- [26] GDAL Development Team, "*GDAL - Geospatial Data Abstraction Library*", GDAL, Retrived from. <https://gdal.org>
- [27] Y. Jang, and D. Rew, "Raw Data and System Technology Trends for Lunar Terrain Analysis," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 18, no. 1, pp. 148-155, 2020.
- [28] S. Son, "A study of submarine combat management system docker-based server virtualization design and performance analysis," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 27, no.12, pp. 121-129, Dec. 2022. DOI: 10.

9708/jksoci.2022.27.12.121

- [29] Docker, "What is a container?" Docker, Retrieved from <https://www.docker.com/resources/what-container>
- [30] M. Ahn, H. Yang, E. Park, Y. Lee, H. Choi, S. Yun, "FBcastS: An Information System Leveraging the K-Maryblyt Forecasting Model," *Res. Plant Dis.*, vol. 30, no.3, pp. 256-267, 2023, DOI: 10.5423/RPD.2024.30.3.256
- [31] K. Shim, H. Jeong, Y. Lim, Y. Shin, Y. Kim, I. Choi, M. Jung, H. Kim, "Cost-benefit Analysis of a Farmstead-specific Early Warning Service for Agrometeorological Disaster Risk Management," *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 19, no.3, pp. 195-202, 2017, DOI: 10.5532/KJAFM.2017.19.3.195
- [32] S. Kim, S. Seo, K. Shim, "Research on Farmer's Response to the Farm-customized Early Warning Service for Weather Risk Management in Korea," *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 25, no.3, pp. 151-171, 2023, DOI: 10.5532/KJAFM.2023.25.3.151
- [33] M. Ahn, J. Lee, S. Lee, H. Yang, H. Roh, Y. Han, "Introduction of Chung-buk e-Environmental Information Service based on Topo-climatology model," *Proceedings of The Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference*, vol. 2023, pp. 155-155, Pyeongchang, Korea, Jun. 2023.

Authors



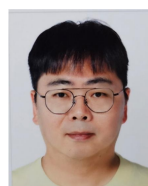
Hyeon-Ji Yang received a B.S. degree in Atmospheric Science from Kongju National University, Gongju, Korea, in 2017. Ms. Yang joined the Agro-environment Research Institute at EPINET Co., Ltd., in Anyang,

Korea, in 2019. She currently serves as a Researcher at the institute. Her interests include data management and applied modeling, with a focus on predicting crop pests and diseases using high-resolution meteorological data and developing agro-meteorological services.



Hyun-Jin Roh earned a B.S. degree in Computer Information Engineering from Inha Technical College, Incheon, Korea, in 2022. Ms. Roh joined the Department of Agro-environment Research Institute at

EPINET Co., Ltd., in Anyang, Korea, in 2023. She currently serves as a researcher of the institute. Her interests include applied development and data management, with a focus on AI-based disease modeling and managing systems for agro-meteorological data services.



Mun-Il Ahn received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Biological Engineering from Sunmoon University, Korea, in 2007, 2009 and 2022, respectively. Dr. Ahn joined the Department of Agro-environment Research

Institute at EPINET Co., Ltd., in Anyang, Korea, in 2009. He currently serves as the Director of the institute. His interests include applied modeling and service planning, with a focus on predicting crop pests and diseases through agro-meteorology and forecasting weather-related disasters.