

120099-03

고해상도
다중규모
기상예측
및 리빙랩
기반
가축,
농작물,
용수
관리의
폭염 및
가뭄피해
저감
실증모델
구축

2023

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
농촌현안해결 리빙랩프로젝트사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004361-01

고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축

2023.06.15.

주관연구기관 / (재)국가농림기상센터
협동연구기관 / (주)유역통합관리연구원
협동연구기관 / (유)나노웨더
협동연구기관 / (주)에스이랩

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축”(개발기간 : 2020.04.29 ~ 2022.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 06. 15.

주관연구기관명 : (재)국가농림기상센터 (대표자) 박종호

협동연구기관명 : (주)유역통합관리연구원 (대표자) 황희경

협동연구기관명 : (유)나노웨더 (대표자) 오재호

협동연구기관명 : (주)에스이랩 (대표자) 오승준



주관연구책임자 : 이승재((재)국가농림기상센터)
협동연구책임자 : 조제필((주)유역통합관리연구원)
협동연구책임자 : 오재호((유)나노웨더)
협동연구책임자 : 유재홍((주)에스이랩)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급		
										일반[√], 보안[]		
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			농촌현안해결 리빙랩 프로젝트사업		
전문기관명		농림식품기술기획평가원			내역사업명		농업시설,기반환경 개선					
공고번호		120099-03			총괄연구개발 식별번호							
		연구개발과제번호										
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 ND0506	50 %	2순위 소분류 코드명 ND0505	25 %	3순위 소분류 코드명 ND0709	25%					
	농림식품과학기술분류	1순위 소분류 코드명 RA0405	50 %	2순위 소분류 코드명 RA0406	25 %	3순위 소분류 코드명 SA0399	25%					
총괄연구개발명 (해당 시 기재)		국문										
		영문										
연구개발과제명		국문	고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축									
		영문	Establishment of demonstration model for reducing heat and drought damage on livestock, crop and water management in rural areas based on high-resolution multi-scale weather prediction and living lab									
주관연구개발기관		기관명	(재)국가농림기상센터		사업자등록번호		119-82-06963					
		주소	(우)08826 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 36동 109호		법인등록번호		115022-0032286					
연구책임자		성명	이승재		직위		부장					
		연락처	직장전화	02-871-0234		휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						
연구개발기간		전체	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)									
		단계	1단계[2]	2020. 04. 29 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)								
			2단계	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31 (1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		2,200,000	18,000	677,200					2,218,000	677,200	2,895,200	
1단계		1년차	600,000		200,000				600,000	200,000	800,000	
		2년차	800,000	9,000	269,000				809,000	269,000	1,078,000	
2단계		1년차	800,000	9,000	208,200				809,000	208,200	1,017,200	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고		역할	기관유형
공동연구개발기관		(주)유역통합 관리연구원	조재필	소장					협동			중소기업
		(유)나노웨더	오재호	대표이사					협동	세부		중소기업
		(주)에스이랩	유재홍	기술이사					협동			중소기업
위탁연구개발기관		서울대학교	이인복	교수					위탁			대학
		서울대학교	김광수	교수					위탁			대학
연구개발과제 실무담당자		성명	오해숙		직위		행정실장					
		연락처	직장전화	02-871-0234		휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 12 월 22 일

연구책임자: 이 승 재



주관연구개발기관의 장: (재)국가농림기상센터

박종호

(직인)



공동연구개발기관의 장: (주)유역통합관리연구원

황희경

(직인)



(유)나노웨더

오재호

(직인)



(주)에스이랩

오승준

(직인)



위탁연구개발기관의 장: 서울대학교 산학협력단

최해천

(직인)



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		농촌현안해결 리빙랩 프로젝트사업				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)						연구개발과제번호		120099-03
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 ND0506	50 %	2순위 소분류 코드명 ND0505	25 %	3순위 소분류 코드명 ND0709	25%	
	농림식품 과학기술분류	1순위 소분류 코드명 RA0405	50 %	2순위 소분류 코드명 RA0406	25 %	3순위 소분류 코드명 SA0399	25%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)								
연구개발과제명		고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축						
전체 연구개발기간		2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)						
총 연구개발비		총 2,895,000 천원 (정부지원연구개발비: 2,200,000 천원, 기관부담연구개발비 : 695,200 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)								
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)								
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		다중규모 고해상도 예측 자료 생산 및 이해당사자 참여를 통한 영 향예보 체계 구축과 폭염 및 가뭄에 대한 선제적 대응을 위한 리빙 랩 기반 서비스 개발				
		전체 내용		- 기상·기후 실시간 예측자료 생산 체계와 가축 고온스트레스 예· 경보 시스템 구축 - 농작물 가뭄피해 저감을 위한 기상예보 기반 스마트폰 의사결정 지원시스템 개발 - 농업가뭄 확산 및 수요예측 모델과 리빙랩 방식 농업용수 관리 모델 개발 - 농촌 현장문제 해결을 위한 웹기반 수요자 참여기반 지역 맞춤형 영향예보 서비스 체계 구축				
		1단계	목표	- 다중규모 고해상도 실시간 예측자료 생산 체계 구축 - 다중규모 기후정보 예측성 평가 및 영향예보 연계 기술 개발 - 가축의 고온 스트레스 분석을 위한 동적수치해석 개별 모듈 개발 - 가축의 고온스트레스 평가 모델의 개발 및 정확도 검증 - 기상예측 자료를 활용한 작물 생육 전망 정보 생산 및 의사결정 지원 도구 개발 - 모바일 앱 기반 작물 생육 예측 및 의사결정 지원 도구 구축 및 시험 운영 - 농업가뭄 확산 및 농업용수 수요·공급 예측 모형 구축 - 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 관리모델 구축 및 적용성 평가 - 농촌 현장 문제 수집을 위한 리빙랩 체계 구축 - 농촌 현장문제 해결을 위한 리빙랩 체계 고도화				
		내용		- 단기·중기 고해상도 기상예측자료 생산을 위한 앙상블 자료동화 기법 개발 - 중장기 고해상도 기상예측자료 생산 체계 구축 - 고해상도 관측자료 생산 및 장기에측 통계 모형 구축 - 단기·중기 앙상블 자료동화 기반 기상예측 및 예측성 평가 - 중장기 고해상도 기상예측자료 성능 평가 및 영향예보 연계 모듈				

		<p>개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 장기 고해상도 기후예측자료 예측성 평가 및 영향예보 연계 모듈 개발 - 고온스트레스 평가 지표에 대한 자료 수집 및 분석 - 가축 고온스트레스 분석을 위한 동적수치해석 모델의 개별 모듈 개발 - 개별 모듈의 에너지 흐름 분석 및 연계를 통한 동적수치해석 모델 개발 - 실시간 기상자료 기반 가축 고온스트레스 평가 모델의 개발 및 정확도 검증 - 동적수치해석 모델 해석 결과 기반 고온스트레스 지표 적용 - 다중규모 기상예측 자료의 활용 체계 구축 - 단기 및 중장기기후 예측 자료를 사용한 작물 생육 예측 지원 시스템 개발 - 기상예측 자료 기반 작물 생육 전망 정보의 신뢰도 분석 - 가뭄에 의한 작물 피해 저감 지원을 위한 모바일 앱 구축 및 시험 운영 - 예측자료 기반 농경지 중심의 농업가뭄 확산 예측 모형 개발 - 예측자료 기반 농업용수 관리자 중심의 수요 및 공급 모의 모듈 개발 - 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 실증모델 요소 기술 개발 - 사용자 중심의 농업가뭄 확산 및 농업용수 수요·공급 모의 예측성 평가 및 개선 - 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 실증모델 구축 - 현안 분석을 위한 현장 구성원 조직 및 참여를 통한 리빙랩 운영 기반 마련 - 리빙랩 사이트 구축 및 운영을 통한 농촌 폭염·가뭄피해 현안 데이터 수집 - 영향예보 분야(가축, 작물, 용수)별 현장 수요 분석 - 분야별 영향예보 체계와의 기술적 연계성 확보 및 정보전달 체계 구축
2단계	<p>목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 다중규모 예측 정보 생산을 위한 현업 운영체계 안정화 및 리빙랩 기반 활용성 평가 - 가축 고온스트레스 평가 모델의 최적화 및 분석 데이터 구축 - 스마트폰 기반 가뭄 피해 저감 의사결정 지원 도구 실증 - 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 피해저감 방안 마련 - 수요자 참여기반 웹기반 영향예보 서비스 구축
	<p>내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 다중규모 고해상도 예측을 위한 현업 운영체계 안정화 - 리빙랩 참가자 대상 설문 조사 및 활용성 평가 - 다중규모 기상·기후예측자료의 연계 및 활용성 확대 방안 제시 - 가축 고온스트레스 평가 모델의 정확도 향상 및 최적화 - 다양한 환경 조건에 따른 분석 데이터베이스 구축 - 가뭄피해 저감을 위한 모바일 앱 기반 의사결정 지원 효과 분석 - 리빙랩 기반 의사결정 시스템 활용성 실증 - 예측자료 기반 농업가뭄 확산 및 농업용수 수요·공급 예측 서비스 제공방안 마련 - 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 실증모델 적용 및 효과검증 - 현장의 수요자 참여를 고려한 웹기반 영향예보 서비스 구축 - 리빙랩 구성원의 피드백 의견 수렴을 통한 서비스 개선

연구개발성과	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활동영역)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S W 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
													SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
최종 목표	1/1	1/1		3/0	1/1		2/2			10/2			6/6	7/6	14/12	4/1	3/4	2/1	16/14	0/1
달성률 (%)	100	100			100		100			500			100	115	117	400	75	200	114	0

1) 기술적 측면
 -양상불 자료동화 기법을 활용한 지면 자료동화 개발 결과 학계 공유
 -가축 고온스트레스 평가 지표 및 위험도 평가 방법론 제시
 -폭염 시 실시간 고온스트레스 지수 산정 및 예보시스템의 기초자료 DB 구축

2) 경제적·산업적 측면
 -지구 온난화에 따라 증가한 불확실성을 정량적으로 추정하여 안정적 작물생육계획 추진을 위한 기상정보 제공
 - 하절기 고온스트레스로 인한 가축폐사량 감소 방안 제시
 - 가축 고온스트레스 저감을 위한 축사 운영 권장안 제시
 - 모바일 앱 기반 작물 생육 전망 시스템 구축으로 효율적인 의사결정 지원
 - 작물 생산성 전망 자료를 활용한 객관적인 물관리 방안 도출 및 수자원 활용 최적화
 - 장기 예보 자료를 활용한 최적 작물 선정
 - 농가 수준의 재배 관리 자료 수집을 통한 작물 재배 빅데이터 구축
 - 기후변화에 취약한 농촌 지역의 현장 맞춤 영향예보로 제공하여 심각해지는 폭염과 가뭄과 같은 기상이변에 대한 대응 역량 강화
 - 목표 서비스 지역의 여러 기관에서 상세화 기후자료를 활용한 기후변화 적응 의사결정을 원활히 하도록 기반자료 지원

3) 사회적 측면
 - 정확한 농림기상정보 제공으로 가뭄, 폭염, 홍수와 관련된 재해 최소화 및 산불과 같은 파생 자연 재해에 대비

연구개발성과의 비공개여부 및 사유
 - 공개

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	13	1				3						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	리빙랩			가뭄		폭염		농업용수		예측		
영문핵심어 (5개 이내)	Living Lab			Drought		Heatwave		Agricultural Water		Prediction		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	15
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	204
4. 목표 미달 시 원인분석	215
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	216
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	217

별첨 자료

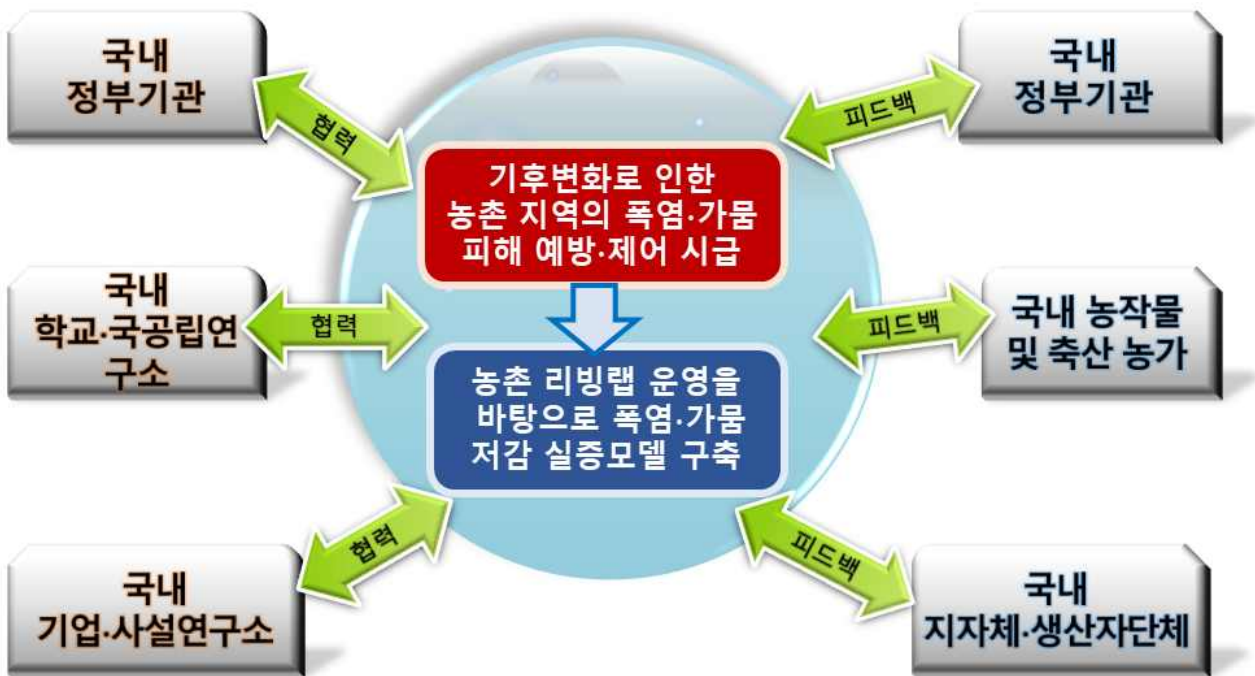
별첨 1. 자체평가 의견서

별첨 2. 연구성과 활용계획서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

최근 기후변화로 인한 농촌 지역의 폭염·가뭄 피해 빈번하게 발생하고 있는데 체계적인 가뭄 발생 기간과 피해규모를 산정하는 시스템이 부재하여 상황 분석 및 대책 마련을 위한 연구개발을 기획하는 데 한계가 있다. 따라서 가뭄 관련 각종 자료 수집 및 통합 데이터베이스 구축 및 수요예측 기반 용수관리 시스템 개발, 폭염 시 농작물·가축 피해 예방·제어기술 개발 등이 필요하고 지역별 고해상도 기상·기후 예측 모델 개발과 원활한 기상정보 제공 서비스 개발이 선행되어야 한다.



<연구개발 대상 및 기술·제품의 개요>

가. 맞춤형 고해상도 시공간 다중규모 예측자료 생산 체계 구축

- 최근 기후변화에 따른 극심한 가뭄 또는 폭염 등으로 인하여 사회 각 부문에서의 피해가 증가하고 있으며, 기후변화 시나리오 상세 자료 기반 분석은 한반도 연평균 강수량이 증가하더라도 강수 패턴의 변화 및 연 변동성이 증가하여 가뭄이나 폭염과 같은 극한 기상현상이 더욱 심해질 수 있는 가능성을 제시하고 있다.
- 기상 현상은 본질적으로 비선형성이 강하므로 예측 불확실성이 크며, 특히 강수 예측은 예측 가능 기간이 짧아 단기 예측에 있어 관측 자료와 수치 모델링을 통계적으로 처리하여 최적의 분석을 수행하여 정확도를 향상시켜야 한다.
- 수개월의 선행기간을 갖는 장기에측정보는 기후변화의 큰 흐름 안에서의 월 또는 계절 변동 관련 정보를 제공함으로써 물관리 시설물의 운영뿐만 아니라 작물 생육과 직접적인 연관을 갖고 있다.
- 현재 국내 농업분야에서 장기에측 정보를 활용하여 선제적 가뭄 대응을 위한 정보를 제공하고 있는 서비스는 전무한 실정이며, 따라서 현재의 장기에측 기술수준에서 활용한 가능한 예측 정보의 수집과 사용자 중심의 상세화와 같은 가공을 통해 선제적 가뭄 대응을 위한 현장 중심의 체계 구축이 필요하다.

나. 폭염에 따른 가축의 고온 스트레스

- 가축은 폭염에 노출될 시 고온 스트레스가 발생하며, 음수량 증가와 사료 섭취량 감소로 체내 영양소 균형이 깨지게 되고, 면역력과 생산성 저하로 폐사율이 증가할 수 있다.
- 국내에서 고온 스트레스를 평가할 수 있는 지표로는 임계온도, 온습도지수 (Temperature Humidity Index), 열부하지수 (Heat Load Index), 축적열지수 (Accumulated Heat Load) 등이 있으며, 기후 변화로 인한 폭염이 빈번하게 발생하게 되면 가축이 고온 스트레스에 쉽게 노출될 수 있다.
- 현재 대부분의 고온 스트레스 평가 지수들은 가축 사육 시설 외부의 기온, 상대습도에 기반하여 고온 스트레스를 평가하고 있으나, 무창, 반무창 사육 시설이 증가하고 있는 상황에서 가축의 고온 스트레스를 보다 정확하게 예측하기 위해서는 사육 시설 내부 미기상 요소를 고려할 필요가 있다.
- 가축 사육 시설 내부의 미기상 요소 (온도, 습도 등)는 냉·난방공조, 가축의 현열과 잠열, 건물의 단열성, 기밀성 등 복합적인 영향을 고려해야 하며, 최근 동적수치해석 모델과 같은 수치예측모델을 이용하여 외부 기상 조건에 따라 내부 미기상 환경을 정확하게 예측할 수 있는 연구가 다양하게 수행되고 있다.
- 폭염으로 인한 가축 피해가 급증하고 있는 실정에서 수치예측 모델을 활용하여 가축 사육 시설 내부 미기상 환경을 선제적으로 예측하고 가축의 고온 스트레스를 정확하게 평가하여 내부 사육 환경을 적절하게 유지할 수 있는 기술이 필요하다.

다. 가뭄 및 폭염에 따른 식물생육

- 토양의 수분이 영구위조점 이하라면 식물에 치명적인 영향을 주면 그 이상에 상태라도, 식물의 수분 스트레스는 기공의 전도성을 감소시키므로 광합성을 위한 CO₂의 흡수를 방해하여 광합성을 감소시키며, 줄어든 증산으로 인한 냉각 효과 감소는 균락의 온도를 높여 호흡을 증가하게 하고 이는 식물의 발달을 촉진하여 식물의 성장기간을 단축하므로 작물의 최종 생산량의 감소시킨다.
- 온도가 작물 생장의 최적 범위를 초과할 때, 호흡량이 증가하므로 순광합성량이 감소할 수 있으며, 일정 이상의 온도에서는 광합성도 감소하여 결과적으로 고온은 식물의 성장과 동화산물의 저장을 방해하며, 온도가 높으면 일반적으로 발달속도가 빨라지므로 성장기간이 감소하고 그러므로 충분한 수량의 확보가 힘들어진다.
- 작물에 따라 고온에 대한 스트레스의 반응 정도가 다르며 수분 스트레스를 받기 시작 하는 토양내 수분량과 토양내 수분의 부족에 따른 작물의 반응 양상도 다르며, 같은 작물 내에 품종에 따른 차이가 있으므로 간편하지만 의미있는 예측과 적절한 대응을 위해서 작물과 품종에 따른 환경 스트레스의 표준화 및 정량화 작업이 필요하다.
- 벼의 생식생장기처럼 고온에 민감한 시기가 있으며 그에 비해 영양생장기는 상대적으로 덜 민감것과 같이, 각 작물의 생육단계별로 고온과 수분 스트레스에 대한 민감도가 다르므로 작물의 생육시기에 대한 환경 스트레스에 대한 정량화 작업이 필요하다.
- 작물은 증발산을 통해 식물의 체온은 떨어뜨리므로 고온과 수분 스트레스는 서로 상호 작용을 하는 경우가 많기 때문에 상호 작용에 대한 고려도 필요하다.
- 극심한 가뭄 등으로 인한 국내 주요 작물의 생산량 저감은 농산물 가격에 영향을 미칠 수 있으며, 특히 강우 패턴의 변화로 인해 수리 시설이 상대적으로 적은 밭작물의 피해가 증가

할 수 있으므로 선제적 대응을 위해서는 최소 2개월의 선행예측이 필요하다.

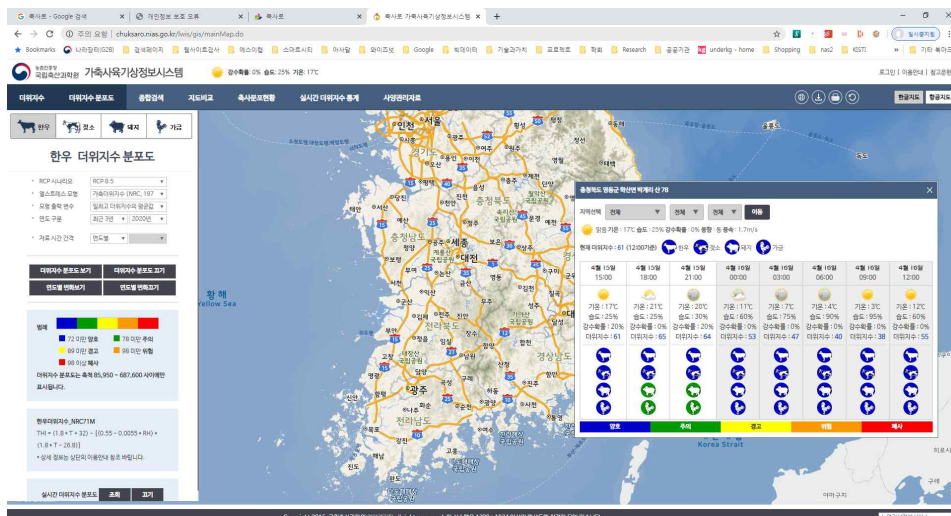
- 연내 기상 예측 자료를 활용한 작물 생육 모형을 통해 가뭄에 의한 피해 예측 및 물관리 일정 수립을 지원할 수 있는 자료의 생산이 가능하며, 특히 모바일 환경에서 이러한 재배 관리 자료를 제공하면 개별 농가단위에서의 활용이 용이할 수 있으므로 농가에 재배관리 정보를 제공할 수 있는 모바일 어플리케이션 개발이 필요하다.

라. 가뭄에 따른 농업용수

- 최근 4~5월경에 봄가뭄이 빈번하게 발생하고 있으며, 가뭄대책 수립을 위해서는 농업용수 공급 차원에서의 농업용수 수급과 가뭄 상황에서의 작물의 생산량 등 향후 가뭄 상황을 예측하는 것이 절대적으로 필요하다.
- 가뭄발생시 농업용수 대책은 주요 농업생산기반시설 관리자인 한국농어촌공사, 중앙정부(농식품부), 지자체 위주로 예방단계에서는 수리시설 양수장비 점검 및 정비, 대비단계에서는 가뭄대책 유류대, 양수장비 배정 및 중장비 지원, 대응단계에서는 저수지 물채우기, 용수로 직접 급수, 관정 등 간이 용수원 개발 등을 실시하고 있다.
- 농업용수에 의한 가뭄피해를 저감하기 위해서는 농업용수로 제수문 조작을 통한 간단관개 실시, 개인 농업용 관정 정비, 절수형 물꼬 관리, 농작물별 물 절약 관개, 비상급수 추진 등 사용자 참여형 대책이 수반되어야 가뭄대책 효과를 극대화할 수 있을 것이다.
- 사전 농업용수관리를 통해서 가뭄을 대비하기 위해서는 중장기기후 및 수요예측 기반의 가뭄확산 정도를 파악하고 사용자가 참여하는 현장형 피해 저감 기술이 마련되어야 한다.

마. 실시간 서비스 체계

- 폭염 또는 가뭄 피해가 빈번하게 발생하는 가운데 현장에서 직접적으로 피해를 접하는 현장 축산농가 종사자들이 활용 가능한 정보가 부족한 현재의 상황이다.
- 국립축산과학원에서는 축산농가를 위한 가축사육기상정보를 제공하기 위해 “축사로 가축사육기상정보시스템”을 구축·운영 중에 있다.
- 동네예보를 기초로 읍면동 단위까지의 가축사육기상정보를 제공하고 있으나, 실제 축산농가의 다양한 특성을 반영한 정보로서는 다소 부족한 현실이다.



<축사로 가축사육기상정보시스템>

- 따라서, 실제 축산농가 현장에서 폭염·가뭄 피해 저감과 더불어 적극적으로 가축사육 환경 개선에 도움이 될 수 있는 현실적인 정보 제공이 절실히 필요하다.
- 이러한 현안들을 해결하기 위해서는 현장 종사자들에게서 현장문제들을 직접적으로 그리고 효율적으로 수집할 수 있도록 현장문제를 전문가와 사용자가 함께 풀어내는, ICT 시스템을 통해 사용자 중심의 프로세스를 지원하는 개념인 ‘리빙랩(Living Lab)’의 도입이 필요하다.

1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 주요 핵심기술의 국내 기술동향 및 수준

1) 다중규모 맞춤형 기상기후예측 정보 생산

- 농업 분야에 있어서 단기(2일) 예측의 경우, 기상청에서 1.5km 해상도 국지예보모델을 운영하고 있으며, 국립기상과학원 그것을 활용하여 다운스케일링한 결과물을 연구 차원에서 생산하고 있다. 단중기(12일) 예측은 국가농림기상센터에서 농경지별로 맞춤형 정보를 1km 이내로 다운스케일링하여 생산해 오고 있다.
- 지구환경 분야에서 다학제적 목적으로 자료동화기법과 앙상블 예측에 대한 연구는 해외 연구기관에서 풍부한 인력 및 전산 자원을 바탕으로 활발하게 진행 중이나 국내에서는 특히 농경지에 특화된 해당 기술을 보유하고 있는 전문가가 상대적으로 많지 않아 저변 확대가 필요한 상태이다.
- 본 연구에서의 중장기기후예측은 예보일로부터 12일~40일간의 중기예측 (Seasonal to Seasonal, 이후 S2S)와 계절예측까지의 기간까지 확장한 장기 예측을 포함한다.
- 중기예측은 초기조건을 보전하기에는 예측시간이 길고 경계조건으로 부터 강제력을 얻기에는 적분시간이 짧아 단기날씨예측과 계절 예측보다 어려우므로 기술력 향상이 필요하다.
- 기상청은 본연구의 장기예측에 해당하는 WMO의 S2S Prediction Project의 수행기관으로 계절예측 모델 GloSea5 기반의 45일 예보를 생산하였으나 현업 자료로 제공하고 있지 않다.
- 국내 장기예측 정보는 현재 기상청에서 제공하는 Global Seasonal Forecasting System-5 (GloSea5) 모형 기반의 6개월 선형 예측 자료가 있으나 기상청에서 공식적으로 발표하는 예보는 전문가 회의를 거쳐 확률기반의 권역별 정보로 제공하고 있어 모형 기반의 예측과 일치하지 않으며 다양한 응용분야의 모델링 기반 영향예보 생산에 어려움이 있다.
- APEC기후센터의 다중 기후모형의 예측정보를 활용하여 국내 수질관리에 적용을 위한 상세화 기법 개발이 수행된 바 있다(조재필, 2016).
- 국내 장기예측 정보를 활용한 영향 평가는 과거 자료를 이용한 연구적인 관점에서 수행되었으며 이를 활용한 현업적 관점의 기후변화에 따른 가뭄 및 폭염 등의 선제적 대응을 위한 시도 및 농업분야에서 수요가 높은 고해상도 자료제공을 위한 상세화 관련 연구는 부족한 실정이다.

2) 폭염-가축

- THI (Temperature Humidity Index) 지수는 기후자료를 이용하여 고온 스트레스가 가축에 미치는 영향을 나타내며, 가축의 생산성을 예측하는데 유용한 지표이다(Ravagnolo et al. 2000; Hahn et al. 2003; Silva et al. 2007; Dikmen and Hansen 2009; Marai and Habeeb 2010).
- 국내의 경우 김성한 등(2019)은 여름철 산란계사를 대상으로 산란계 생산성에 영향을 미치는 제어요소를 분석하기 위하여 THI 지수를 이용하여 상관관계를 분석하였으며, 최진용 등(2014)은 우유생산량에 대한 이론적 모델에 THI 지수가 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 또한 양인정 등(2013)은 우리나라 경북지역을 중심으로 THI 지수를 도출하여 젖소의 유질에 미치는 영향을 상관관계와 회귀분석 방법을 이용하여 분석한 바 있다.
- 국립축산과학원 (2016)에서 IPCC의 RCP 시나리오에 따른 외부 기온 및 습도 변화를 고려

하여 젓소, 돼지, 육계, 산란계 등 축종별 미래 THI 지수 예측을 수행한 바 있음. 또한 김성한 등(2019)은 여름철 산란계사를 대상으로 산란계 생산성과 THI 지수의 상관관계를 분석하였으며, 최진용 등(2014)은 우유생산량에 대한 이론적 모델에 THI 지수가 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

- 특히 권경석 등(2018)과 하태환 등(2018)은 BES 수치해석 모델 및 THI 지수를 이용하여 국내 주요 지역별, 육계사와 자돈사 시설 내부의 고온 스트레스 발생 정도를 평가한 바 있다.
- 농촌진흥청은 폭염 등 기상재해에 따른 축산농가 피해 예방 및 선제적 대응을 위해, RCP 시나리오에 따른 축종별 더위지수(온습도지수)를 산정하여 실시간 더위지수 분포도를 제공하는 가축사육 기상정보시스템을 운영하고 있으나 (chuksaro.nias.go.kr) 가축의 더위지수를 평가하는데 간과한 부분이 있는데, 대부분의 가축은 축산시설 내에서 사육된다는 것이다. 이는 가축의 더위지수 산정 시에, 외부기상만이 아니라, 사육시설의 특성, 환기시스템, 냉방시스템 등 주요인자들을 함께 고려해야 한다는 것을 의미하며 기존의 방법은 시설 내부의 환경 데이터를 이용하지 않고 외부 기상 자료를 활용했다는 한계점이 존재한다.

3) 폭염 및 가뭄에 따른 작황

- 국내 작황 모니터링은 주로 농촌진흥청과 농촌경제연구원 산하기관에서 매년 표본조사를 통한 통계적 추정과 현장 조사와 수급모형을 이용하여 쌀, 보리, 콩, 감자에 대해 작물 생산량을 추정하고 있다.
- 위성영상을 활용하여 미국 콘벨트 등 일부 주요 곡물생산지대에 대한 작황 추정 연구와 국내 벼 수량 추정 및 미국 중서부, 중국 동북 3성에 대한 콩, 옥수수 등의 수량 추정 연구가 수행되었으나 전 지구 주요 작물 지역에 대한 작황 추정 연구는 부족하다(박혜진 등 2017; 이경도 등 2017).
- 연내 곡물 생산량 추정을 위해서 인공위성자료가 활용되었으며 NDVI 등 식생 지수를 활용하여 공간적인 곡물 생산량 추정 기술이 개발되었다. (김준환 등 2019)
- 농촌진흥청과 서울대학교는 연구개발사업을 통해 미국 콘벨트 지역을 대상으로 인공위성 연계 작물 모형 시스템 개발해 왔다.

4) 농업용수 정보의 구축과 활용

- 국내 농업수자원의 수리기반과 현황에 대한 정보 수집 체계는 대체로 자리를 잡아가고 있고, 농업용수관리라는 측면에서 구역별 물수지와 가뭄평가 등의 분석을 지원하는 수준에 이르고 있다.
- 한국농어촌공사는 농촌용수종합정보시스템 RAWRIS (Rural Agricultural Water Resource Information System)를 개발하여 국가차원의 농업용수 관리 정보 활용 체계를 구축하고 수리시설과 물수지 관련 기본 정보를 제공하고 있다. 또한 전국 13,000여개의 수원공의 저수율을 비롯한 용배수로 88,000km에 대한 유지관리정보를 제공하는 목적으로 농업기반시설 관리 RIMS (Rural Infrastructure Management System)를 운영 중에 있다.
- 정부는 관계부처(행정안전부, 농림축산식품부, 환경부, 기상청, 국립재난안전연구원, 한강홍수통제소, 한국농어촌공사, 한국수자원공사) 합동으로 '국가 가뭄정보 통계'를 개발하여 2020년 2월 10일부터 인터넷 국가통계포털(www.kosis.kr) 및 각급 기관 누리집을 통해 가뭄에 대한 종합적인 정보를 공개하고 있다.

- 그러나, 수자원(농업용수) 관리시스템, 토지 관리체계가 각 기관/지자체별로 분산되어 있어 가뭄과 관련한 요인별 데이터 통합 관리가 절실한 상황이며, 단순 통계데이터 관리 및 제공이 아닌 가뭄발생 시 토지, 수자원, 기상 상황 등을 종합적으로 분석하여 지역별 농업용수 수요/공급가능량에 따라 배분/조정하는 체계가 필요한 실정이다.
- 선제적 농업용수 가뭄대응체계를 구축하기 위해서는 기상예측 및 전망 자료를 통한 가뭄확산 예측을 예측하고 농민들에게 논/밭 필지단위 기상위험 예측정보와 관리대책을 제공하였다.

5) 국내 리빙랩 및 서비스 현황

- 리빙랩의 주요 국내 사례로는 북촌 리빙랩, 성대골 리빙랩, 대전의 건너유 리빙랩 등을 들 수 있다. 각각 사례의 구체적인 목적과 과정은 서로 다르지만 리빙랩을 지역 문제 해결을 위한 방법으로 활용한다는 점에서는 동일하다.
- 성대골 에너지 전환전략과 리빙랩
 - 서울시 동작구에 있는 성대골은 활발한 마을만들기 운동으로 도심지역에서 공동체를 회복한 뒤, 2011년 후쿠시마 원전사고를 계기로 안정적인 에너지 공급과 지속가능성에 대한 운동이 시작되었다.
 - 성대골 에너지자립(전환)마을을 목표로 다양한 학습과 실험이 시작되었음. 이후 서울시 에너지 자립마을 사업이 선정되어(2012) 마을 내에서 태양광발전, 태양열온풍기 설치, 에너지카, 건물단열사업 등과 같은 에너지 관련 실험과 사업이 본격화 되었다.
 - 이와 같이 에너지 자립마을을 위해 다양한 시도들이 이루어져 왔으나 산발적으로 진행되어 온 실험들을 정리하고 향후 도입기술을 결정할 필요성이 제기되었다.
 - 이에 에너지 자립마을 비전에 부합하고 주민들이 실제로 필요로 하는 실험을 설계하고 추진할 수 있도록 주민들이 에너지 생산기술과 실험방법을 선택하고 실험을 주도하는 에너지 전환 리빙랩을 추진하였다.
 - 리빙랩 추진 이후 성대골 마을 에너지자립 관광코스로 개발되었다.
서울시는 먼저 마을 주민들을 중심으로 개략적인 투어코스를 짰는데, 성대골마을의 경우 '성대골어린이도서관→ 에너지특화거리(베란다태양광, LED가로등, 벽화 등)→ 도화공원(태양광,LED설치, 에너지체험 놀이기구)→ 도화주차장(LED조명)→상도초교(체험관, 태양광발전소)'로 이어지는 코스(안)이 나왔다.

성대골·십자성마을, 에너지자립 관광코스로 개발

입력 : 2013.02.01 10:23



▲ 동작구 성대골(안) © News1

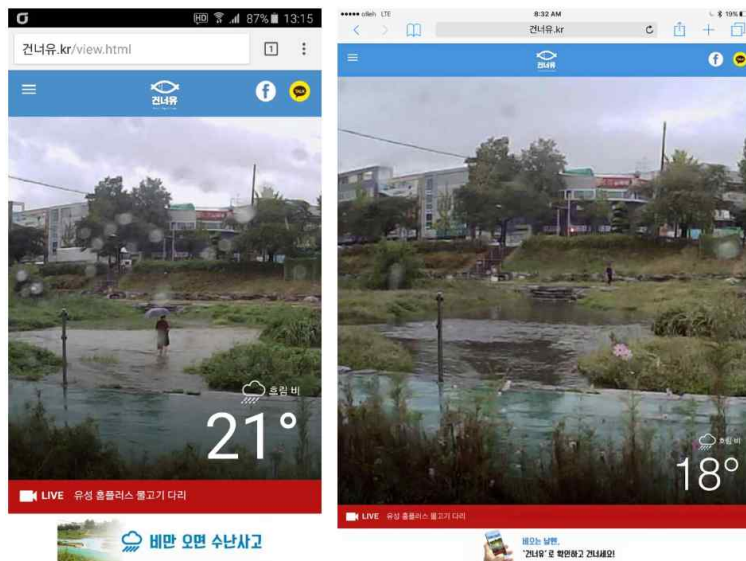
서울시는 동작구 성대골과 강동구 십자성마을을 오는 2014년까지 에너지자립마을 관광투어코스로 개발한다고 1일 밝혔다.

서울시는 지난해 시가 에너지자립마을로 선정한 7곳 중 마을주민 의지가 강하고 투어코스로 개발이 적합한 2곳을 도심형 에너지자립마을로 조성할 계획이라고 밝혔다.

<성대골 에너지자립 관광코스 개발 기사>

- 대전 지역문제 해결 리빙랩 프로젝트 ‘건너유’

- 대전에서는 하천 범람을 실시간으로 확인할 수 있는 웹서비스를 개발해 시민의 불편을 해소하려는 리빙랩 실험이 이루어졌다.
- 대전 유성 흙플러스 인근 징검다리, 일명 ‘물고기다리’에서 호우 시 빈번하게 사고가 발생했으나 시 차원에서 뚜렷한 안전대책을 제시하지 못하였다. 그러던 중 다리에서 사망사고가 발생함에 따라(2014년 8월) 대전시 사회적자본지원센터 주도하에 다리의 안정성 문제 해결을 위한 리빙랩 프로젝트 ‘건너유’가 추진되었다.
- 하천의 범람과 안정 상태를 스마트폰으로 실시간 확인 가능한 웹서비스를 개발하여 시민의 불편 해소를 목적으로 한다.
- 방수처리 및 도난방지장치가 설치된 모듈을 설치하고 모바일 웹을 구축하였다. 사용자들의 접근도를 향상시키기 위해 <http://건너유.kr>(한글주소) 도메인 및 웹서버를 구축하고 반응형 웹페이지를 개설하였다. 사회혁신 및 시민들의 다양한 관심을 바탕으로 2018년 초 실제 육교를 설치하는 예산이 통과 되었다.



<건너유 프로젝트 모바일 서비스 화면>

○ 주요 핵심기술의 국내 시장현황

- 자료동화에 대한 관심이 국내에서 증가하는 추세로 현업 기관과 대학 및 출연연구소 등 다양한 연구기관에서 연구개발 추진을 계획이 진행 중이다.
- 기후변화의 영향으로 국내 여름철 폭염일수는 최근 들어 점차 증가하고 있는 추세이며, 특히 2018년에는 관측 이후 최고치인 31.5일을 기록하였다. 8월 전국평균 폭염일수는 14.3일로 연이은 폭염으로 인한 인명피해 및 재산피해가 발생하고 있다(2018 재해연보).
- 2013년 경기·인천·충남·전북·경북 등 전국적인 폭염(7.1~8.28)으로 인하여 가축 폐사피해 발생하였다(705농가에 1,985천여 마리 폐사: 닭 1,664천수, 오리 242천수, 돼지 2,133두 등) (관계부처합동, 2013).
- 2015년 강수량의 절대 부족으로 인천·경기·강원·충북·경북 등 5개 시·도, 39개 시·군의 논·밭 7,358ha에서 가뭄 발생하였다(관계부처합동, 2015).
- 2016년의 경우 총 81회의 폭염특보가 발표되었고 8월 중 강수량은 76.2mm로 평년의 27.7% 수준에 그치는 등 7~8월 전국적인 폭염과 가뭄으로 인하여 과실 일소 및 농작물 고사 등 농작물 피해 16,599.7ha와 가축 4,444,876마리 폐사 피해 발생하였다. (복구지원액 : 14,479백만원, 가축재해보험금 지급액 : 20,744백만원) (관계부처합동, 2016)
- 2017년 5~7월 발생한 가뭄으로 전남 등 4개 도 3천 농가에 13천ha 가량의 농작물 피해가 발생하였으며, 남부지방은 장마철에도 가뭄이 지속되어 전남지역 340농가에 6백여ha의 농작물 피해가 추가적으로 발생하였으며, 더운 날씨로 인하여 닭, 오리 등 5백만 마리 이상의 가축이 폐사하는 피해가 발생하였으며, 지역별로 전북 1,615천마리, 전남 1,213천 마리 등의 피해 발생하였다. (관계부처합동, 2017)
- 가축재해보험의 사고 원인을 분석한 결과, 폭염으로 인한 손해가 돼지의 경우 39.5 %, 가금류의 경우 63.5%를 차지하였다. 산란계의 경우 대부분 케이지 사육방식으로 사육되고 있어 폭염에 더욱 취약한 것으로 나타나 폭염일수 증가에 따른 손해액이 커지고 있는 추세이다.

(단위 : 백만원, 천두)

사고년도	소	돼지		가금류		기타	축사	손해액
	손해액	손해액	가입두수	손해액	가입두수	손해액	손해액	
2016	30,741	36,356	9,600	29,062	243,483	2,274	27,767	126,200
2017	35,767	39,240	10,396	27,923	257,638	5,328	19,011	127,269
2018	52,135	90,314	10,949	51,773	266,714	14,549	35,171	243,962

○ 지식재산권현황

- 특허정보원 DB (www.kipris.or.kr)를 이용하여 가뭄, 폭염, 작물생육, 고온 스트레스, 저수량, 예측 등의 키워드에 대해 국내 특허 현황을 조사한 결과, 관련된 지식재산권 등재 내역이 미미하므로 향후 특허등록 추가가 가능하다.

○ 표준화 현황

- e나라표준인증 (standard.go.kr)를 이용하여 기상, 기후, 예측 등의 키워드를 이용하여 국가 표준 현황을 조사한 결과, 국가표준은 검색 내용이 없으며 기술기준의 경우 기후변화 시나리오 자료 활용과 관련하여 「국가 기후변화 표준 시나리오 인증심사에 관한 규정」이 있으며, 기상법에서 위임한 예보 및 특보에 관한 업무와 그 시행에 필요한 사항을 규정하는 「예보업무규정」이 있다.
- e나라표준인증 (standard.go.kr)에서의 가축 고온스트레스 관련 기준은 전무한 실정이다.
- 2017년 완결된 과제 중 “기후변화에 따른 축산·사료작물 생산성 영향·취약성 평가방법 연구” (국립축산과학원)에 관한 연구가 진행되어 가축사육 기상정보시스템을 제시하고 있다.
- 온습도지수 THI (Temperature Humidity Index)
 $THI = (1.8 * T + 32) - [(0.55 - 0.0055 * RH) * (1.8 * T - 26.8)]$
 (미국사양표준 (NRC,1971)을 따라함)

	한우 및 젃소	돼지	가금
양호	72 미만	64 미만	63 미만
주의	78 미만	73 미만	73 미만
경고	89 미만	83 미만	80 미만
위험	98 미만	93 미만	91 미만
폐사	98 이상	94 이상	92 이상

- 하절기 고온스트레스를 절감하기 위한 영양학적 연구(사료)는 활발하게 진행 중이다. (고온기 육성비육돈과 번식돈의 생리적 반응조사 및 생산성 저하 방지 기술 개발(2016))
- 축산환경의 열스트레스 영향평가모델 원형구축에서 열 스트레스의 정량화 방안으로 THI, WBGT(습구흑구온도) 사용하였다. (응용기상기술개발연구(I) : 생명·산업기상기술개발연구(2013))

$$WBGT \approx 0.567T_a + 0.393P_e + 3.94 \quad \text{///} \quad P_e = 6.105 * \frac{RH}{100} * e^{\frac{17.27 T_a}{237.7 + T_a}}$$

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

1) 다중규모 맞춤형 기상기후예측

- 단기에측 기술현황:

- 4차원 앙상블-변분 자료동화기법을 UK Land Environment Simulator (JULES)에 결합한 프레임워크를 개발해가고 있으며 (Pinnington et al., 2020), 2018년 서부 유럽에 발생했던 여름철 폭염 (heat wave)이 식생에 미친 영향을 모니터링 하는데 지면자료동화 플랫폼을 활용하는 연구 (Albergel et al., 2019)를 진행하였다.
- 폭염은 한파에 비해 예측 정확도가 예보일로부터 시간이 지남에 따라 더 빨리 하락하는, 즉 예측 가능성이 떨어지므로 모델링의 개선과 초기조건 개선으로 가능한 한 예측성능을 높이는 노력이 필요하다(Lavaysse et al., 2018).

- 중장기기후예측 기술현황:

- S2S 예측의 어려움을 극복하고자 WMO는 현업 기관들의 계절예보 결과를 개선하여 S2S prediction project를 수행하고 있다.
- 본 연구에서의 중장기기후예측에 활용할 NCEP CFSv2 모델은 S2S 예측 정보를 일주일 간격으로 서비스하고 일주일 2회 CFS reforecasts 자료를 제공함으로써 장기모델이 가지는 모델 편의를 보정하도록 제공 중이다. 실시간 자료 제공 서비스를 가장 안정적으로 현업 운용 중이다.

- 장기기후예측 기술현황:

- 2005년 국내 APEC기후센터에서 다중 기후예측 모형 기반의 MME(Multi-Model Ensemble) 자료를 매월 향후 3개월 및 6개월 기간에 대해 강수량 및 기온 예측 정보를 ADSS 포털을 통해 제공하여 왔다.
- 최근에는 유럽중기예보센터(ECMWF)에서도 다중모형 기반의 6개월 예측 정보를 매월 지연시간 없이 CDS(Climate Data Store)를 통해 제공하고 있다.
- 북미의 경우에도 미국과 캐나다를 중심으로 장기에측 자료생산 기관들의 예측자료를 모아 North America MME(NMME)의 다중모형 기반 예측정보를 Climate Prediction Center(CPC)를 통해 제공하고 있다.

2) 폭염 가축 스트레스 저감

- NRC (1971) 및 Dikmen and Hansen (2009)은 고온에 따른 가축의 열 스트레스 지수 산정을 위하여 기온과 상대습도를 이용한 THI 지수식과 열 스트레스 평가 기준값을 제시하였다.
- St-Pierre et al. (2003)은 THI 지수를 이용하여 미국 내 고온 스트레스에 따른 축종별 경제적 피해 규모를 추정하였으며, 고온 스트레스로 인하여 가축의 생산성이 하락하는 임계점에 대하여 THI 지수로 제시한 바 있다.
- Bouraoui et al. (2002), Collier et al. (2011), Gantner V. et al. (2011)은 THI 지수에 따른 젖소의 우유 생산량 관계를 분석하였고, Vitali et al. (2009)는 THI 지수에 따른 젖소의 폐사를 분석을 실시하였다.
- Tinoco et al.(2016)은 환기 시스템이 각각 음압식과 양압식으로 설치된 두 계사에 대하여 열환경 평가 지표로 THI 지수를 이용하였으며, Purswell et al.(2012)는 THI 지수와 닭의 생산성에 대한 상관관계를 연구하였다.
- 미국의 경우, USDA의 지원으로 U.S. Meat Animal Research Center와 Clay Center, NE에

서 2007년부터 temperature, humidity, wind speed, cloud cover의 4가지 기상요소(National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service)를 연동하여 미국 지역별 소에 대한 heat stress를 분포도로 웹상에서 제공하고 있다. (<https://www.ars.usda.gov/plains-area/clay-center-ne/marc/docs/heat-stress/main/>)

- 미국의 Kansas state university는 2014년부터 외부 대기온도, 상대습도, 풍속, 일사량의 기상요소를 통하여 동물의 종합쾌적지수 (CCI, Comprehensive comfort index, T.L. Mader et al, 2014)를 산정하여 지역별 분포도를 제공하고 있다. (<http://mesonet.k-state.edu/agriculture/animal/#mtIndex=0&tab=table-tab>)
- 뉴질랜드에서는 농장주가 직접 온도와 상대습도의 정보를 기입하여 THI 정보를 취득할 수 있는 Dairy NZ라는 웹사이트를 운영하고 있다. 하지만 프로그램에서 농장주에게 필요한 정보를 제공하는 것이 아니라 농장주가 자신의 지역의 온·습도 정보를 정확히 인지하고 직접 입력해야한다는 단점이 존재한다.
- 다양한 농업 분야에서 실시간 예·경보 시스템을 제공하고 있다. Fall Armyworm Monitoring and Early Warning System는 아시아, 아프리카, 아메리카에서의 중요 작물의 실시간 해충 정보에 대한 정보제공하고 있으며, Water Productivity through Open access of Remotely sensed derived data는 아프리카와 Near East에서의 농업용수 공급 관리에 대한 자료를 제공하고 있다. 또한 EMA-i이라는 아프리카에서의 실시간 가축 질병에 대한 조기 경보 시스템이 제공되고 있다.

3) 폭염-가뭄에 따른 작물생육

- 미국, 유럽연합, 중국 등의 국가와 국제기구에서 다중 위성자료를 활용하여 전지구 단위부터 국가, 지역 단위 등으로 작물생육상태와 재배면적, 생산량 등을 추정할 수 있는 시스템들이 구축되어 활용되고 있다(이정빈 등 2014).
- 미국과 호주 등에서는 인공위성, 드론과 기상관측장비 등을 이용하여 실시간으로 경작지를 관측하고 수집, 분석 및 시각화하여 개인 사용자에게 유용한 정보의 형태로 제공하는 작황 모니터링 서비스 시장이 구축됐다 (Xiong et al., 2019).
- Uz et al. (2019)는 인공위성자료로부터 총생산성 및 증발량 등의 자료를 생성하여 작물모형과 연계될 수 있음을 소개하였다.
- 인공위성을 통해 얻은 토양 수분 정보나 식생지수를 자료 동화 기법 등을 통해 작물 모형에 도입하여 신뢰성 높은 곡물 생산량 추정하는 기술이 개발되고 있다(Zhuo et al., 2018, Francesco et al., 2019, Yepei et al., 2015).
- 장기간 계절예측자료를 사용하여 작물 모형의 입력자료로 활용하여 생산성 전망자료를 생산하기 위한 연구들이 진행되고 있다.
- 정부간 국제기구인 지구관측그룹(GEO:Group on Earth Observation)은 GEOGLAM(GEO Global Agricultural Monitoring)을 통해 전세계 작황 정보를 관측하고 있다.
- 미국 USDA 해외농업청(FAS)은 위성영상, 작물모형 등을 통해 관측한 전세계 작황정보를 Crop Explorer 시스템을 통해 웹으로 제공하고 있다.
- 유럽 JRC(Joint Research Center)는 원격탐사 기술과 작물 모형을 이용하여 전 세계 경지면적, 작물 생산량, 질소수지, 토양유기탄소 변화를 관측하고 있다.
- 중국은 중국과학원(CAS) 중심으로 CROPWATCH 프로그램을 통해 주요국의 기상과 작황 상

황을 관측하고 웹사이트와 보고서로 제공하고 있다.

- FAO는 아프리카, 북한 등 식량위기에 처한 나라의 작황을 위성자료 분석을 통하여 매년 생산·보고하고 있다.

4) 농업용수 정보의 구축과 활용

- 해외에서의 연구개발 현황을 살펴보면, 국제 농산물 시장에 영향력이 큰 미국과 유럽을 비롯하여 FAO, UNESCO 등의 국제기구들은 전 지구적인 수자원 정보를 구축하고 지도 서비스를 제공하는 등 자국의 영토 범위를 넘어 광대한 정보의 수집과 분석을 수행하고 농업정책과 시장 대응에 적극 활용하고 있다.
- 유럽 EEA (European Environment Agency)는 Water Data Center (<http://water.europa.eu>)를 통하여 유럽의 물 관련 자료와 정보를 제공하고 있다. 인터넷 지도 서비스인 WISE (Water Information System for Europe)는 Map Viewer를 이용하여 수질, 수량과 EU 물 관련 정책의 추진에 관한 정보를 검색할 수 있다. Heavily modified and artificial water bodies, Water bodies not at risk, Ground water monitoring, Surface water monitoring 등에 접근할 수 있다. 그리고 지도 작성에 사용된 통계자료는 EUROSAT (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>)에서 다시 확인할 수 있다.
- EC JRC (Joint Research Center)는 MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing)와 IES (Institute for Environment and Sustainability)를 통해서 유럽지역의 강수 및 토양수분의 공간분포를 생성하고 작황 예측 모델에 활용하고 있다. 위성관측 혹은 공간분석모델로 유도된 지도 자료는 작물생육모델의 입력 자료로만 쓰이는 것이 아니라 가뭄과 홍수의 예측에도 활용되며 간접적으로나마 지역별 물수지를 추정할 수 있다. 그리고 River and Catchments database for Europe (CCM: Catchment Characterisation and Modelling), European Drought Observatory, FLOODS Portal 등의 포털 사이트를 운영하여 물 관련 정보를 제공한다.
- FAO와 Johann Wolfgang Goethe University는 AQUASTAT를 통해서 물과 농업에 관한 FAO 전 지구 정보 시스템으로 국가별 지역별 자료를 분석하고 이를 공개하고 있다. 특히 사용자가 관개면적 분포도를 다운받아 직접 Google Earth에 올려 볼 수 있도록 서비스 하고 있다. 특히 관개지역에 대한 전 지구 지도 (Global Map of Irrigation Areas; GMIA) 작성 사업을 수행하였고 이를 이용하여 용도별 물 수요와 수지를 계산하고 현재와 미래의 수요를 보여주고자 하였다.
- 2000년에 UNESCO에 의해 시작된 WWAP (World Water Assessment Programme)는 지속 가능한 개발을 위해 각 정부가 국가 수자원 관리 계획을 세울 수 있도록 지원하기 위한 목적을 가지고 있다(<http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr>). UN World Water Development Report를 online/offline으로 발간하고 있으며 여기에 water stress index (WSI), water reuse index (WRI) 등 다양한 지표들을 지도로 제공한다.

5) 국외 리빙랩 및 서비스 현황

- 국외에서는 주로 헬스케어, 웰빙, 사회 혁신과 통합 및 스마트시티 분야의 리빙랩 등이 가장 활발히 진행되고 있다. 유럽 리빙랩 네트워크에 의하면 구체적으로 헬스와 웰빙이 52%, 사회혁신이 41%, 사회 격차 해소가 39%, 스마트시티가 33%, eGov와 eParticipation이 18%, 문화와 창조분야가 17% 등으로 분포한다.

- 벨기에의 LiCaLab(Living and Care Lab)

- LiCaLab은 고령자들의 건강 문제를 해결하기 위해 구축된 헬스케어 리빙랩으로, 정부와 기업, 대학, 헬스케어 기업 간의 파트너십을 체결하여 기업과 단체가 사용자들과 함께 혁신을 실험·검증할 수 있도록 지원했다.
- 리카랩의 성공적인 사례인 탑셰이크 개발 사례는 음식을 삼키기 어려운 노약자를 위한 아침식사 대용 식품 개발에 리빙랩 화법을 활용하였다.
- 즉석식품을 제조해 슈퍼마켓에 유통하는 식품 회사인 탑푸드가 토마스모어 대학 내의 보건의료기술전문지식센터인 모비랩과 루벤 대학의 식품 관련 연구소인 래포푸드와 협업하여 개발을 진행하였다.



<리카랩 리빙랩의 성공적인 사례인 탑셰이크>

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

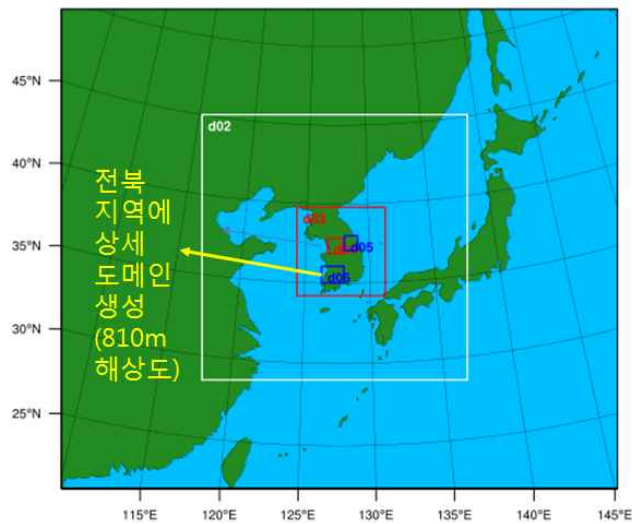
2-1. 1차년도 (2020)

가. 다중규모 고해상도 실시간 예측자료 생산 체계 구축

○ 단기·중기 고해상도 기상예측자료 생산을 위한 앙상블 자료동화 기법 개발 및 고도화

1) LMAP 예측자료 생산

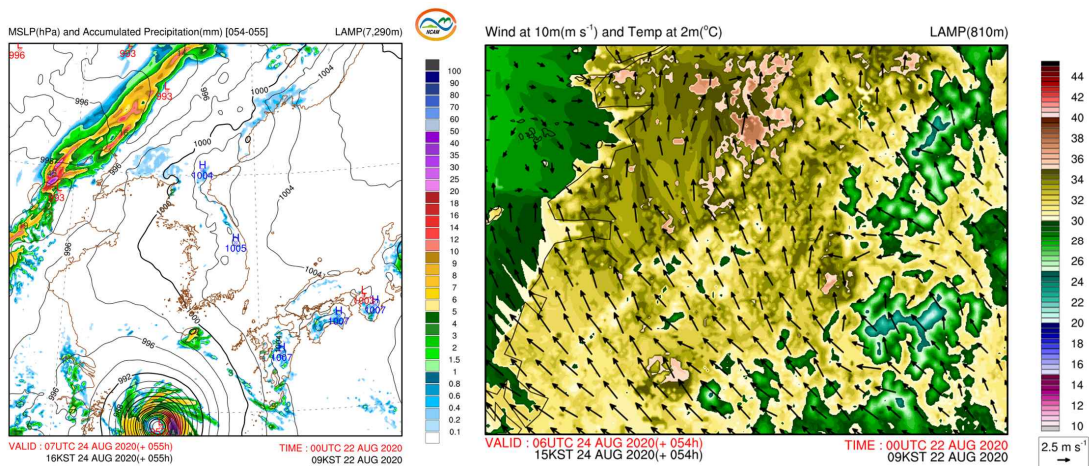
WPS Domain Configuration



<LAMP 예측자료 도메인>

2) 폭염이 극심했던 전북 농경 지역에 대하여 사례 연구 수행

- 전라북도 지역에 대한 LAMP 기상예측 자료 시험생산을 수행하였다.(2020년 8월 여름)

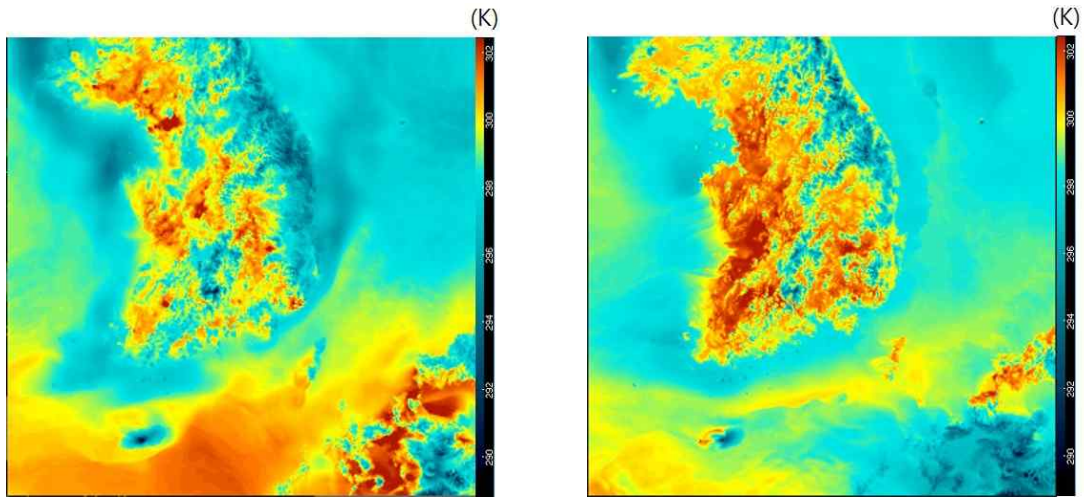


<한반도 LAMP 기압, 강수 예측도>

<전라북도 LAMP 기온, 바람 예측도>

- 폭염이 극심했던 전북 농경 지역에 대하여 사례 연구 수행

- KMAPP 전북지역 일사량 예측 검증을 통해 검증을 위한 참고자료로 사용 가능성 확인하였다.



<KMAPP의 2019년 8월 3일 기온 예측> <KMAPP의 2019년 8월 25일 기온 예측>

- 전북지역 LAMP 모델 도메인 구성 및 앙상블 수치 모의

- 앙상블 예측 실험을 수행하여 2019년 8월 2~3일 사례에서 단기보다는 중기 폭염 예측 성능이 향상되는지 검토하였다.

<전북지역 ASOS 관측자료>

asos	지점번호	위도	경도	해발고도(m)
철원	95	38.14787	127.3042	155
고창	172	35.34824	126.599	52
고창군	251	35.42661	126.697	59
군산	140	36.0053	126.76135	28
남원	247	35.4213	127.39652	133
부안	243	35.72961	126.71657	12
순창군	254	35.37131	127.1286	129
임실	244	35.61203	127.28556	247
장수	248	35.65696	127.52031	407
전주	146	35.84092	127.11718	60
정읍	245	35.56337	126.83904	69

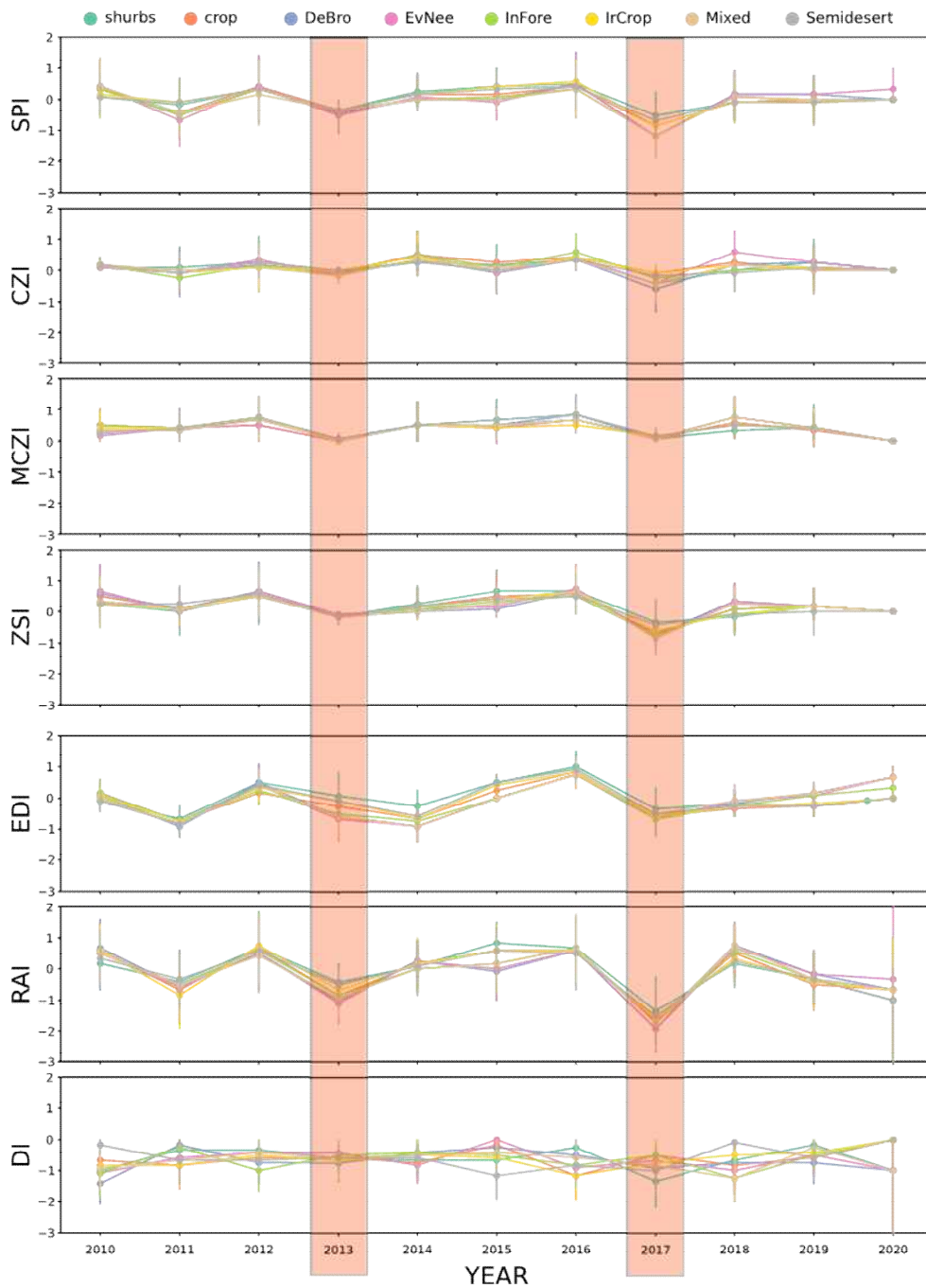
- 기상청 ASOS 관측 자료를 이용한 전북지역 KMAPP 예측 성능 검증

<ASOS와 KMAPP을 통한 예측 성능 검증>

Statistics Of Solar radiation (MJ/m ²)	Sunchang 02~03 Aug. 2019	Gochang 02~03 Aug. 2019	Gochang-gun 02~03 Sep. 2019	Junju 02~03 Sep. 2019
Bias	0.4157	0.4113	0.2539	0.2238
RMSD	0.6753	0.6950	0.5416	0.5500
R ²	0.97	0.8927	0.8708	0.8485

- 재분석 자료를 이용한 가뭄 연구

- 한반도에서의 가뭄을 연간, 월간으로 살펴볼 때 RAI, EDI, SPI 지수가 우리나라에서 가뭄 지표로 사용하기 적절하다고 판단하였다.

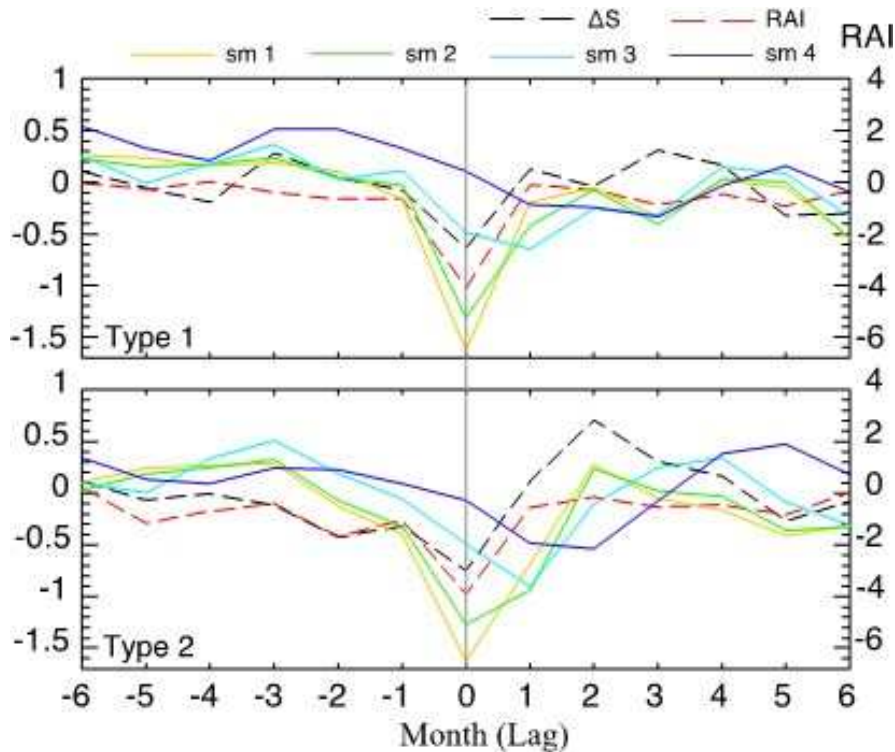


<재분석 자료로 산출된 2010-2020 연간 가뭄지수>

<1979-2020 월간 가뭄 사례들에 대한 KMA 55개 지점과 해당 ERA5의 Hit-score>

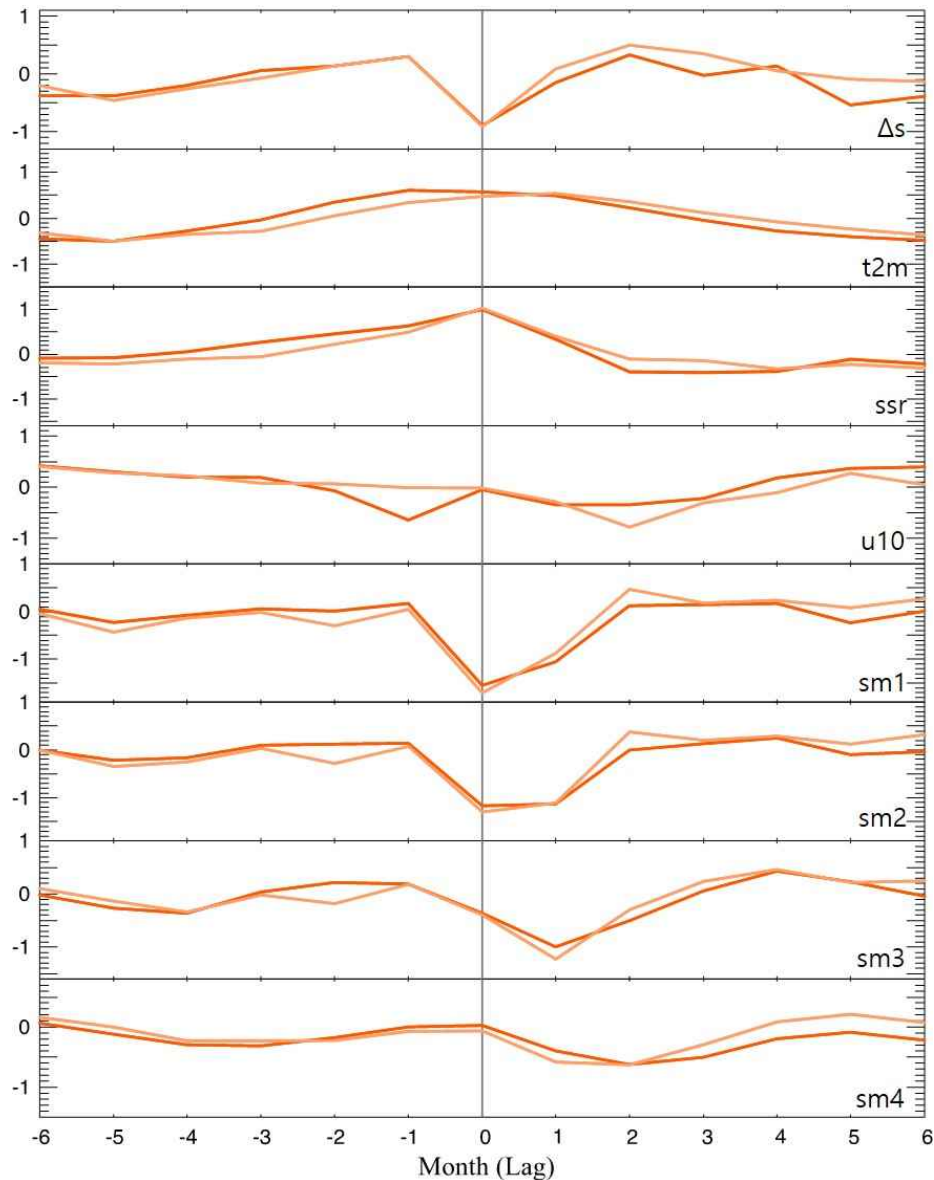
		SPI1	CZI1	DI	EDI	MCZI1	RAI	ZSI
KMA	Hit	26.7%	13.3%	43.3%	68.4%	1.1%	74.4%	20.4%
	Fail	8.4%	7.5%	17.0%	31.1%	14.0%	25.6%	7.7%
ERA5	Hit	29.8%	14.6%	43.2%	66.5%	2.7%	74.1%	24.9%
	Fail	11.4%	9.3%	18.2%	32.9%	15.2%	25.9%	10.5%

- 강수를 이용한 가뭄지수를 이용하여 식생 구분에 따른 가뭄을 분석한 결과, 전북지역이 해당하는 키 낮은 식생이 주요한 경우 (두 가지 타입) 토양수분 변동성이 큰 것으로 확인되었다.



<각 식생 분류별 RAI의 10 minimum cases를 기준으로 composite analysis>

- 가뭄 발생 전 높은 기온, 많은 일사량, 적은 동서 바람이 동반되는 경향 보인다.
- 3층 토양수분은 1개월 lag를 가지고 가뭄에 영향을 받았으며, 이는 1개월 전 가뭄대비에 주요 사전 인자로 활용될 가능성이 있다는 것을 의미한다.



<두 가지 식생 분류별 Δs 의 10 minimum cases를 기준으로 composite analysis 한 각 변수를 나타낸 그림>

○ 중장기 고해상도 기상예측자료 생산 체계 구축

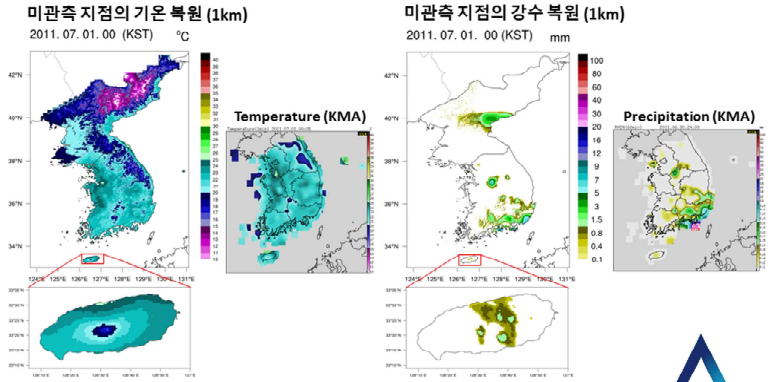
1) 중장기 고해상도 기상예측자료 생산시스템 구축

- 중장기 고해상도 기상예측정보 생산 모듈 개발

- 미국 NCEP(National Center of Environmental Prediction)에서 매일 4회 생산하는 CFSv2(Climat Forecast System Version 2) 45일 예측자료(6시간 간격)를 FTP(File Transfer Protocol) 방식으로 수집하였다. 자료수집 소요시간은 약 2시간이 소요되었다.
- 기온, 바람, 강수량 상세화를 위해 AlphaMet 모형 사용하였으며, AlphaMet 수행을 위해서 CFSv2 자료 전처리과정을 개발하였다. 전처리 과정에는 단위변환, 위경도 변환, 자료 포맷변환 등이 수행되었다.

 알파멧 (AlphaMet) 소개

- 
강수
 - 연속병진식에서 습도의 섭동장 geophysical forcing 효과 계산 강우강도 진단
- 
바람
 - 연직 지오폠펜설, 바람(U,V)을 활용, 특정 고도 값으로 직합
- 
기온
 - 상세 지형효과를 고려, 등압면의 두께에 따른 기온 감률 산출 적용



• 특허등록 3건 (10-1791007/강수, 10-1817605/기온, 10-1926036/바람)

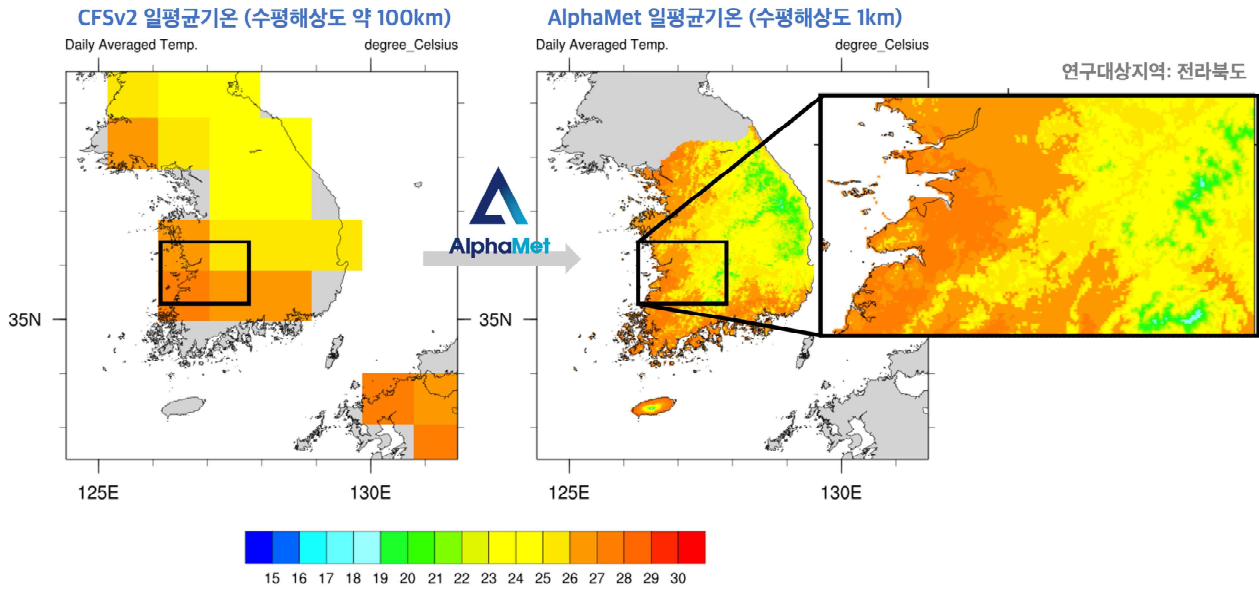


<기상기후자료 상세화 솔루션 알파멧(AlphaMet) 소개>

<CFSv2 자료 추출 및 전처리 변수 목록>

구분	격자수(동서방향x남북방향)	연직층수	추출변수
Surface	190x384	-	2m Temperature
			Precipitation
			10m U-wind
			10m V-wind
			Geopotential Height
Vertical	181x360	1000~10 hPa (12 levels)	Temperature
			Relative Humidity
			U-wind
			V-wind
			Geopotential Height
			Vertical Velocity

- AlphaMet 기반 전북지역 중장기 고해상도(1km) 기상예측자료 생산체계 구축
 - CFSv2 기상변수와 DEM 지형고도(1km) 자료를 기반으로 물리적 진단모형을 활용한 공간상세화 진행하였다. 예측기간은 예보기준일로부터 45일까지이며 예측변수는 일최고·최저·평균 기온, 일누적 강수량, 일평균 풍속이다.
 - CFSv2 모델로는 전라북도 전체 영역에 기온, 바람, 강수량이 같은 값을 가지지만, AlphaMet으로는 1km 해상도로 상세화한 값을 제공할 수 있다.



<AlphaMet 기반 CFSv2 1km 상세화 결과>

- CFSRR 재분석자료 수집 및 1km 상세화 수행
 - CFSv2 모델의 재분석자료인 CFSRR(CFSv2 Reanalysis Reforecast) 자료 수집 후 AlphaMet 으로 1km 상세화 복원하여 기후자료 생산하였다. 기간은 1991-2010년이며 6 시간 간격으로 기온, 강수량, 바람에 대한 변수를 생산하였다.
- AlphaMet 1km 관측자료 복원 완료
 - 과거 30년 기상청 AWS, ASOS 관측자료 수집 후 AlphaMet 으로 1km 상세화 복원하였다. 기간은 1989-2018년이며 변수는 기온(일평균/최저/최고 기온), 강수량(일누적 강수량), 바람(일평균풍속)이다.

○ 고해상도 관측자료 생산 및 장기에측 통계 모형 구축

1) 한반도 고해상도 격자기반 관측자료 생산

- 국내 격자기반 고해상도 관측자료 현황 분석

<국내 격자기반 고해상도 관측자료 현황>

구분	공간해상도	자료제공 기간	변수	원천자료
MK-PRISM v1.2	1 km	2000~2017	강수, 최고기온, 최저기온	방재기상AWS
IDW-IGISM	3 km	1976~2018	강수, 최고기온, 최저기온	ASOS
AlphaMet	1 km	1991~2020	강수, 최고기온, 최저기온	방재기상AWS

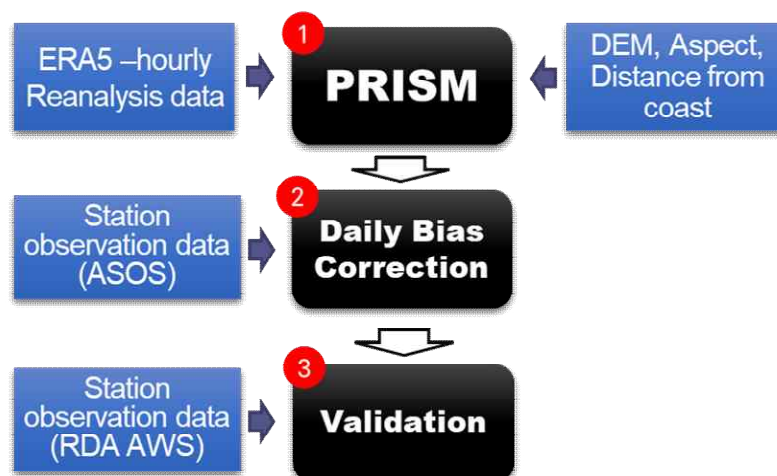
- MK-PRISM 자료는 RCP 기반의 기후변화 시나리오 상세화를 위해 생산된 자료로 기상청의 방재기상 AWS 자료를 이용하여 남한 지역에 대해 강수량, 최고기온, 최저기온에 대한 1km 해상도를 PRISM 기법을 활용하여 생산 제공하고 있으나, AWS 자료를 원천 자료로 사용함에 따라서 초창기 2000~2010년의 자료를 제공하였으며 이후 AWS 자료가 축적됨에 따라서 SSP 시나리오 상세화에 활용을 위해 2000~2020년까지의 20년 자료를 제공하고 있다.

- IDW-IGISM 자료는 기후의 특성을 분석에 있어서 WMO에서 권장하는 30년 기간의 자료 활용 관점에서 MK-PRISM 자료가 갖고 있는 자료 기간의 한계를 극복하기 위해서 PRISM 기반의 기법을 활용하되 원천자료를 기상청 종관기상관측소(ASOS) 자료를 활용하여 생산한 자료이다. CMIP5 RCP 기반 기후변화 시나리오 상세화에 활용할 목적을 갖고 생산되어 RCP 과거기간(Historical) 기간으로 사용한 1976~2005(30년)을 포함할 수 있도록 1976년 이후 자료가 생산되어 제공되고 있으나 ASOS 자료의 공간적 분포의 한계로 인하여 최적의 해상도를 3 km 해상도로 결정하여 자료를 생산 제공하고 있다.
- AlphMet 자료는 (주)나노웨더에서 남한 지역에 대해 강수량, 최고기온, 최저기온 기상변수에 대해 1 km 해상도로 생산되고 있는 자료이다. 기상청의 방재기상 AWS 자료를 원천자료로 활용하여 1991~2020 (30년) 기간의 자료를 제공하고 있으나 초반 기간과 최근 자료에 사용된 AWS 관측소 개수자 다르게 사용된다.

- 리빙랩 기반 실증모델 구축을 위한 관측자료 수요 및 특성 파악

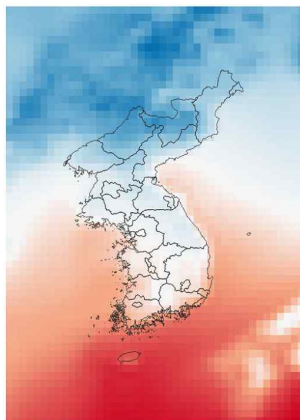
- 공간적 특성: 리빙랩 기반의 농업인 참여 기반 실증모델 구축을 위해서는 기후예측 정보를 농경지 단위에서의 기상·기후 특성의 공간적 분포를 고려할 필요가 있다.
- 시간적 특성: 격자기반 관측자료는 장기에측 자료를 활용한 Monthly Effective Drought Index (EDI) 기반의 가뭄예측에 활용되며, 이 경우 현업적인 (Operational) 활용을 위해서 예측시점 이전의 동일 격자 기반의 관측자료와 예측기간의 자료의 병합을 통한 모델링 수행이 필요하다. 이를 위해 예측시점 직전 월까지 자료가 매월 갱신될 수 있는 체계 구축이 필요하다.
- 기상변수: 장기에측자료는 폭염지수와 같이 극한기후지수(Extreme Climate Index) 기반의 대리변수를 활용한 월단위의 취약성 또는 리스크 영향 평가에 활용이 가능하며, 농업용수 물수지, 작물생육 등 특정 목적에 맞는 모델링 기반의 영향 평가에 활용이 가능하다. 모델링 기반의 영향평가에 선정된 모형의 기후입력 항목에 따라서 강수량 및 기온(최고, 최저, 평균) 변수 이외에 풍속, 일사량, 상대습도 등과 같은 추가 변수가 필요하다. (예: 농업용수 수요량 산정의 Penman-Monteith 기반 증발산량 산정 등)

- 통계적 기법을 활용한 고해상도 관측자료 생산 체계 구축

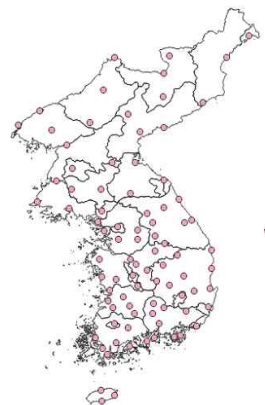


<고해상도 격자기반 관측자료 생산 및 검증 절차>

- 1km 해상도 관측자료 생산은 3단계의 과정을 거쳐 수행된다. 우선 ERA5 재분석 자료를 이용하여 고도, 경사향, 해안으로부터 거리 등을 고려하여 1 km 해상도의 관측자료를 생산한 후, 발생된 특이값을 제거하고 기상청의 ASOS 일단위 기상관측 자료를 이용하여 생산된 1km 자료의 편이를 보정하였다. 최종적으로 생산된 자료의 재현성 평가는 농촌진흥청의 농업기상 AWS 자료와의 비교를 수행하였다.
- PRISM 기법을 이용한 고해상도 격자형 자료 생산의 원천자료로 유럽중기예보센터(ECMWF)에서 제공하는 ERA5 시간단위 재분석자료¹⁾를 사용한다. ERA5 재분석 자료는 25 km 공간해상도를 갖고 있어 기상청 ASOS 자료와 비교하여 공간적으로 밀도가 높으며, 자료제공 기간 또한 1979년부터 현재까지 강수량, 기온(최고, 최저), 풍속, 상대습도, 일사량 관련 기상 변수를 모두 제공하고 있고, 자료 업데이트도 3일 정도의 지연을 거쳐 서비스 포털을 통해 제공되고 있다.
- 1단계의 ERA5 재분석 자료를 이용한 1km 해상도 자료 생산은 강수량, 최고기온, 최저기온 자료 생산을 위해 개발된 IGISM 코드 (Eum et al. 2018)를 풍속, 상대습도, 일사량 자료 생산이 가능하도록 수정하여 사용하였다.
- 2단계 후처리는 IGISM(이하 IGISM 기법)에 의해 생산된 자료의 경우 사용된 통계적 기법의 특성으로 인하여 특이값들이 발생할 수 있으며, 이는 자료생산 기간의 격자별 평균값을 계산한 후 상·하위 0.001 퍼센타일에 해당되는 격자에 대해 주변 값을 이용하여 보간을 함으로써 제거한 후, 기상청에서 제공하는 ASOS 관측소 자료를 이용하여 관측소별 격자값과의 비교를 통해 일단위(daily) 편이를 산정한 후 편이를 공간적으로 보간 후 격자별 편이를 고려하였다. 특이값이 제거될 때까지 2단계 과정을 반복하였다. ASOS 기상관측소 자료는 남북한의 88개 관측소 자료를 사용하였으며, 일사량의 자료는 모든 관측소에서 제공되지 않아 ASOS 관측소 자료를 이용한 편이보정은 수행되지 않았다.
- 3단계의 IGISM 자료의 관측소 자료와의 비교를 통한 평가는 자료생산 과정에 사용되지 않은 기상청 방재기상 AWS 자료 및 농촌진흥청의 농업기상 AWS 자료를 활용할 수 있다. IGISM 자료와 나노웨더에서 생산하고 있는 AlphaMet 자료와의 비교를 위해서 AlphaMet 자료 생산에 사용되지 않은 농업기상 AWS 자료와의 비교를 통해 수행하였다. 농업기상 AWS는 대부분 관측시점이 2000년 이후일 뿐만 아니라 관측시점이 서로 상이하고 결측을 포함하고 있는 자료들이 존재한다. 따라서 자료의 비교 평가를 위해서 결측값이 적고 시계열 그래프에서 연도별 값의 범위가 급격하게 변하지 않는 관측소의 자료를 사용하였다.



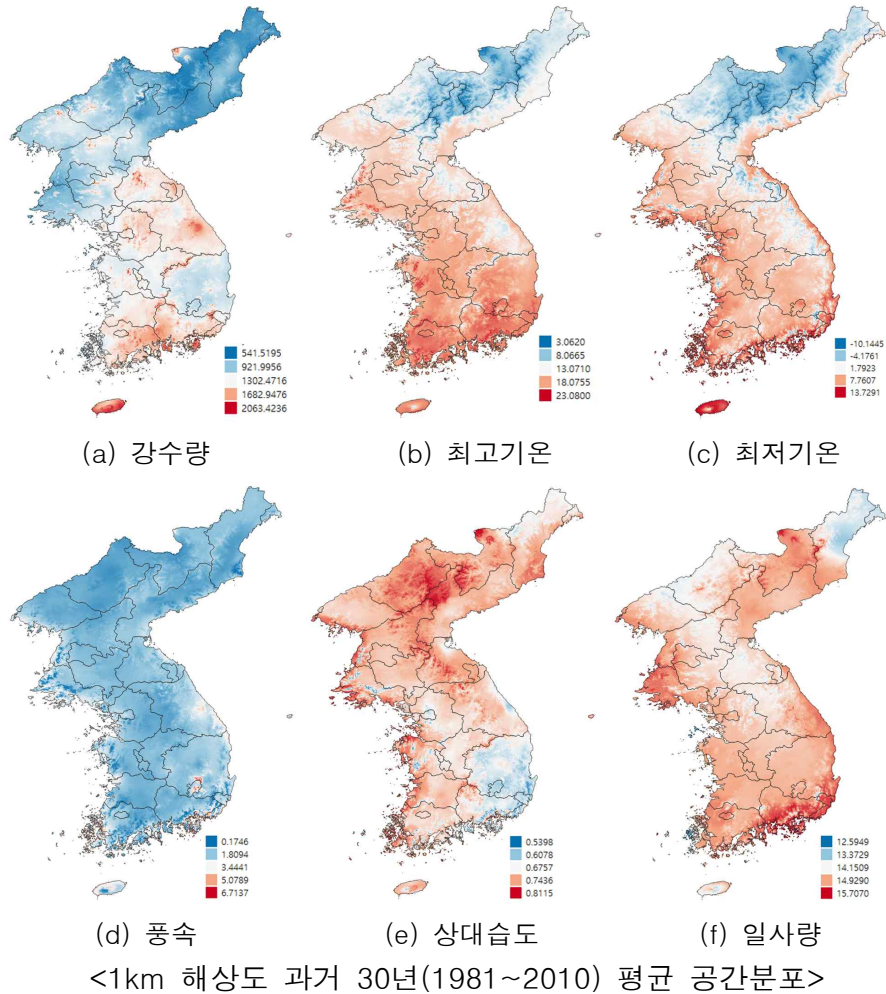
(a) ERA5 한반도 영역 및 해상도



(b) 한반도 ASOS 관측소

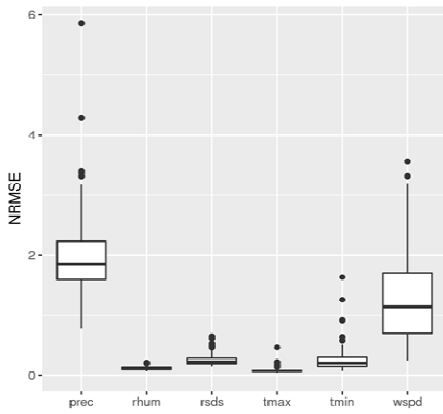
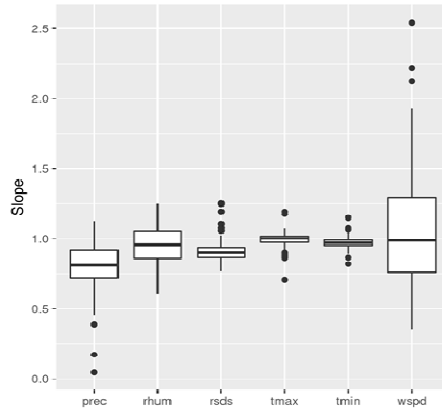
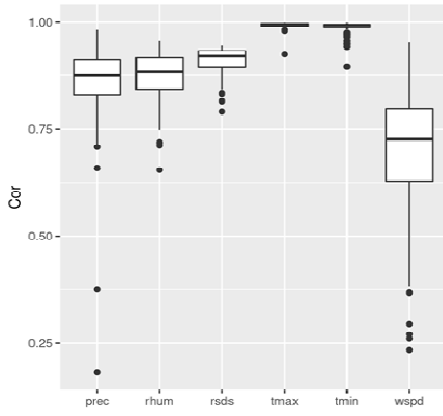
1) ERA5 재분석자료: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/>

- 생산된 일단위 자료를 이용하여 30년(1981~2010) 평균 기후값을 계산하였다.

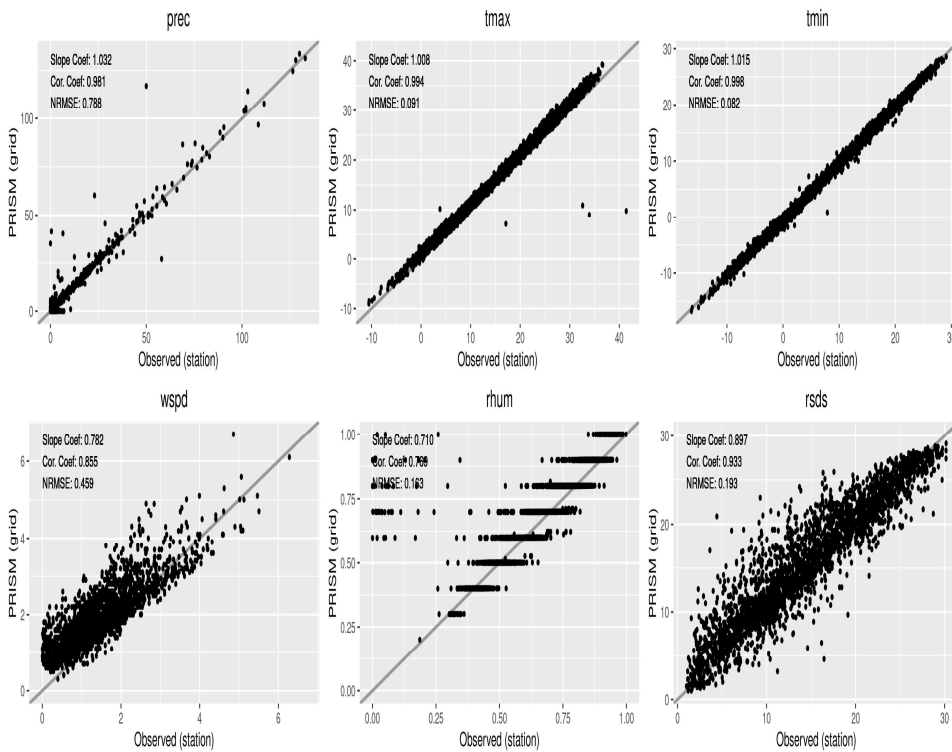


- 농업기상 AWS의 일단위 재현성 평가

- 농업기상 AWS 지점별 1km 격자값과의 일단위 비교 수행하였다. Slope 및 상관계수 (Correlation Coefficient: Cor)은 1에 가까울수록 Normalized Root Mean Square Error(NRMSE)는 0에 가까울수록 재현성이 좋은 결과를 나타낸다.
- 공간적 변동성이 큰 풍속과 강수의 경우 재현성이 기온과 비교하여 상대적으로 낮은 재현성 결과를 보였다.
- 농업기상 AWS 관측소 중에서 수원 ASOS 관측소 인근에 위치한 AWS 자료와 격자형 자료와의 일단위 비교는 그림과 같다.



<농업기상 AWS와 1km 격자형 자료의 일단위 비교 결과>



<수원 인근 AWS와 1km 격자형 자료와의 비교 결과>

2) 장기에측 상세화 자료 생산 체계 구축

- APCC 다중모형 기반 장기에측 상세화 자료 생산

- APEC기후센터(APCC)에서는 2005년 설립 이후 여러 국가의 계절예측 현업 기관으로부터 3개월 및 6개월 선행의 강수량 및 평균기온에 대한 예측 자료를 수집한 후 자체 개발한 MME 기법을 적용하여 전세계에 대한 예측 자료를 2.5. 공간해상도(한반도의 경우 대략 250 km)의 자료를 제공하고 있다.
- APCC를 통해 수집되고 있는 최신의 장기 기후예측 모형의 원자료를 이용하여 예측성을 높이기 위해 개발된 통계적 모형인 SBC, MWR, MWR-Obs, CIR 기법들을 적용하여 통계적 예측 모형을 구축하였다.
- 농업용수 관리 등 기타 서비스 시스템과의 현업적인 연계를 위해서 다음 절차를 자동화하였다 (SForecast R 패키지): 1) 원시 예측자료 수집, 2) 수집 자료의 전처리, 3) 통계적 예측 모형의 적용, 4) 예측 결과 기반의 시·공간적 상세화, 및 5) 상세화 자료의 후처리 (맞춤형 입력자료 생성 및 극한기후지수 생산 등)
- 매월 예측자료 생성 시 구동 시간의 단축을 위해 다중 CPU를 탑재한 고성능 데스크탑에서도 빠르게 예측자료를 생산할 수 있도록 기존 코드의 병렬화 수행하였다.

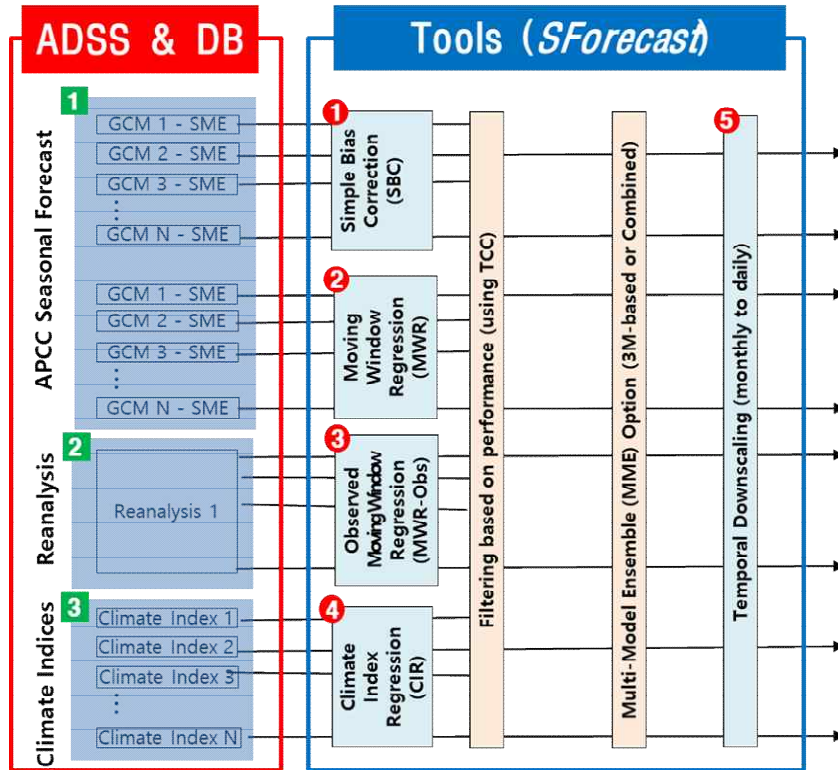
<SForecast R 패키지의 장기에측 상세화 통계모듈 설명>

예측 모듈	예측 모듈 설명
Simple Bias Correction (SBC)	APCC에서 매달 10개국 14개 기관으로부터 수집하는 개별 기후예측모형(GCM)에 의해 생성된 대상 지역 및 기간에 대한 예측 정보를 월별 기후 특성(평균)만을 보정하여 활용하는 예측 자료 기반의 직접적인 상세화 방법
Moving Window Regression (MWR)	APCC에서 매월 수집하는 개별 GCM의 예측자료를 사용하는 것은 같으나, 한반도 상공의 강수 예측 정보를 그대로 사용하는 대신에 GCM으로부터 예측된 광역규모의 기후예측 정보 중에서 한반도 강수량과 높은 상관관계를 보이는 해수면온도 등과 같은 대리변수를 이용하여 통계(회귀)모형을 구축하여 예측하는 예측자료 기반의 간접적인 통계적 예측방법
Climate Index Regression (CIR)	실시간 관측 자료를 이용하여 매월 업데이트되는 기후인자(Climatic Index)를 예측인자(predictor)로 사용하여 상관성이 높은 예측인자를 지연시간(lag time)을 고려하여 찾아내고 대상지역(한반도)의 기후를 도출된 상관관계를 이용하여 예측하는 통계적 방법
Observation-based Moving Window Regression (MWR-Obs)	예측인자로 예측자료를 사용하지 않고 관측 자료인 NCEP/NCAR 재분석자료(Reanalysis) 중에서 바람장과 같은 대리변수를 사용하는 방법으로 예측대상 변수와 예측인자 사이에 지연시간(lag time)을 고려하여 높은 상관관계를 보이는 예측인자를 찾아낸 후 회귀모형을 구축하여 예측하는 방법

- APCC 예측자료 생산은 선행예측기간별 다중모형을 사용하였으며 (표), 상세화 자료 생산은 4개 통계모듈을 이용하여 대상지역(전라북도)에 대한 월단위 예측자료를 생산한 후 과거자료로부터 가장 유사한 기후자료를 추출하여 시·공간적으로 상세화된 자료를 생산하였다.

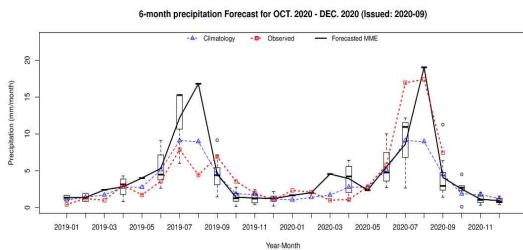
<SForecast 장기에측을 위한 선행예측기간별 사용 예측모형>

선행 예측기간	사용 모형 (앙상블 멤버수)
3개월	ACCESS-S (11), HMC SL-AV (20), MGO MGOAM2 (10)
6개월	APCC SCoPS, CWB GFST119 (30), KMA GloSea5GC2 (42), NASA GOES-S2S-2.1 (4), NCEP CFSv2 (20), PNU CGCM v2.0 (5)

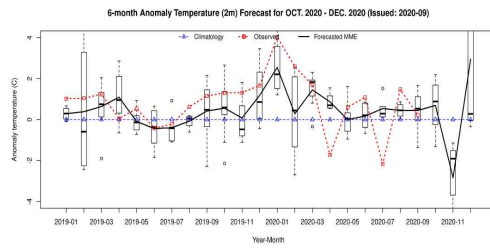


<SForecast 자료 상세화 자료 생산을 위한 모듈(절차) 연계>

- 구축된 통계적 장기에측 모형을 이용하여 전라북도 지역에 대한 2020년 9월말 6개월 선행예측 결과는 아래 그림과 같다.



<6개월 강수 예측자료 2020-09>



<6개월 온도 예측자료 2020-09>

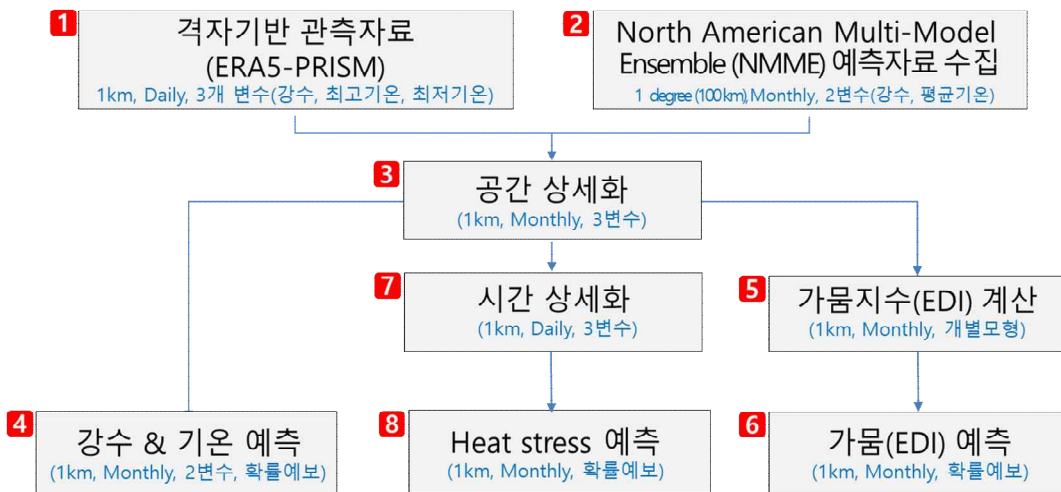
- NMME 다중모형 기반 장기에측 상세화 자료 생산 (2차년도 추가 연구)

- 장기에측 자료의 현업적 활용을 위한 활용 가능한 예측정보를 조사한 결과 아래 표와 같이 North American Multi-Model Ensemble (NMME) 및 유럽의 Climate Data Store(CDS)를 통한 예측정보가 활용 가능하다.

<현업적 활용이 가능한 장기에측 정보 비교>

구분	예측기간	공간 해상도	제공변수	MME	시간 해상도	자료기간
APEC 기후센터 (APCC)	3 ~6개월 선행	2.5° (250km)	강수량, 평균기온	15개 (4개/7개)	Monthly	Hindcast:1991 ~ 2010 Forecast: 2011~현재
North American Multi-Model Ensemble (NMME)	12개월 선행	1.0° (100km)	강수량, 기온(최고:최저), 풍속, 일사량, 습도 등	5개	Daily	Forecast: 2018~현재
					Monthly (아노말리)	Forecast: 2011~현재 (강수량, 평균기온)
유럽 Climate Data Store (CDS)	6개월 선행	1.0° (100km)	강수량, 기온(최고:최저:평균), 풍속, 운량, 습도, 일사량 등	8개	Daily	Hindcast:1993 ~ 2016 Forecast: 2017~현재
					Monthly (아노말리)	Forecast: 2017~현재

- APCC 예측자료와 비교하여 공간적인 해상도도 높으며 선행예측기간도 긴 NMME 자료를 활용한 장기에측 상세화 시스템(NMME R 패키지)을 개발한다.
- NMME 기반 장기에측자료 생산 절차는 아래 그림과 같다.



<NMME 장기에측 자료 기반 상세화 및 극한기상(폭염 및 가뭄) 예측 절차>

- NMME 예측정보 생산 절차별 상세 내용은 아래와 같다.

① 격자 기반 과거 관측자료 생산

- 변수: 강수량, 최고기온, 최저기온
- 기간: 1979.01.01. ~ 2018.12.31.
- 공간 해상도: 1 km
- 생산 방법:
 - 25 km 해상도의 ERA5 hourly 자료를 이용하여 한반도 표준시간과의 차이(9시간)을 고려하여 일단위 자료로 변환
 - PRISM 기법을 이용하여 고도, 경사방향, 해안으로부터의 거리 등을 고려하여 1km 해상도로 공간적 상세화 수행
 - 기상청 종관기상관측소(ASOS) 60개 관측소를 이용한 일단위(daily) 편이보정(Bias Correction)

② North American Multi-Model Ensemble (NMME)²⁾ 자료 수집

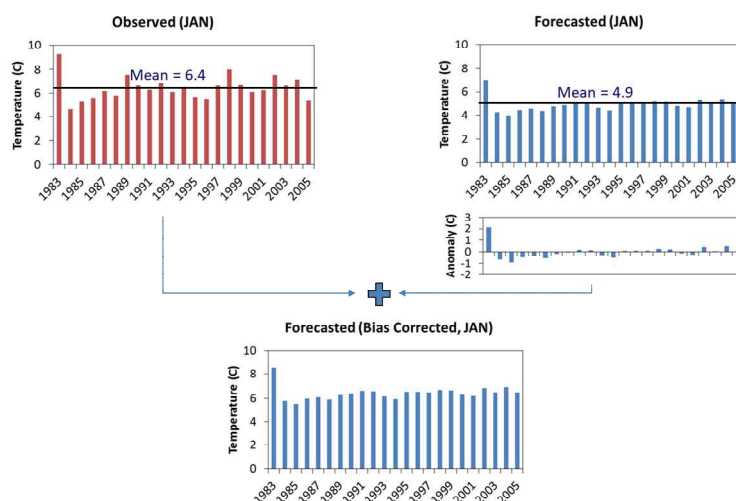
- 자료 수집 시점: 매월 9일 이후
- 변수: 월단위(monthly) 강수량, 평균기온 아노말리(anomaly)
- hindcast 기간: 1982~2010
- 갱신 주기: 매월 1회
- 선행예측 기간: 12개월
- 공간 해상도: 1도 (대략 100 km)
- 기후예측 모형: 5개 모형

<NMME 장기에측 정보 제공 모형 리스트>

모델명	생산기관
Canadian Coupled Climate Model versions 4 (CanCM4)	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)
Climate Forecast Model version 2 (CFSv2)	NOAA's National Centers for Environmental Prediction (NCEP)
Global Environmental Multiscale/Nucleus for European Modeling of the Ocean (GEM-NEMO)	NOAA's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
Goddard Earth Observing System Model version 5 (GEOS-5)	NASA's Goddard Space Flight Center (GSFC)
Community Climate System Model version 4 CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR)

③ 공간 상세화

- 월단위 전지구 예측자료로부터 한반도 영역 추출 및 공간적 상세화(1 km 격자별 거리 가중치를 이용한 interpolation)
- NMME 예측자료 hindcast 기간(1982~2010)에 대한 1km 한반도 과거자료를 이용한 월별 평균값 계산
- 공간상세화된 1km 아노말리와 월별 hindcast 기간 동안의 관측 평균을 이용한 편이보정된 월단위 예측자료 생산 (그림 참조)



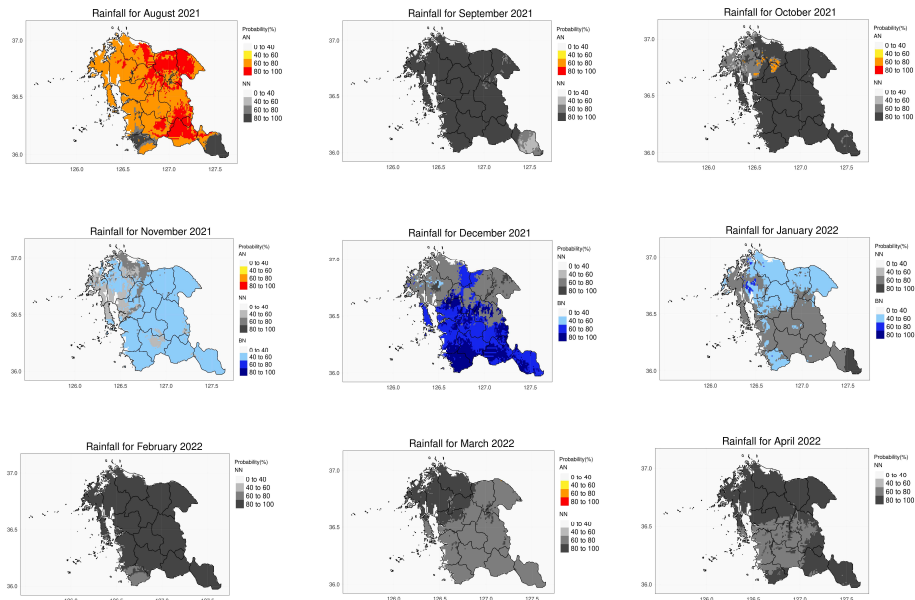
<NMME 공간 상세화 개념도>

2) <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/north-american-multi-model>

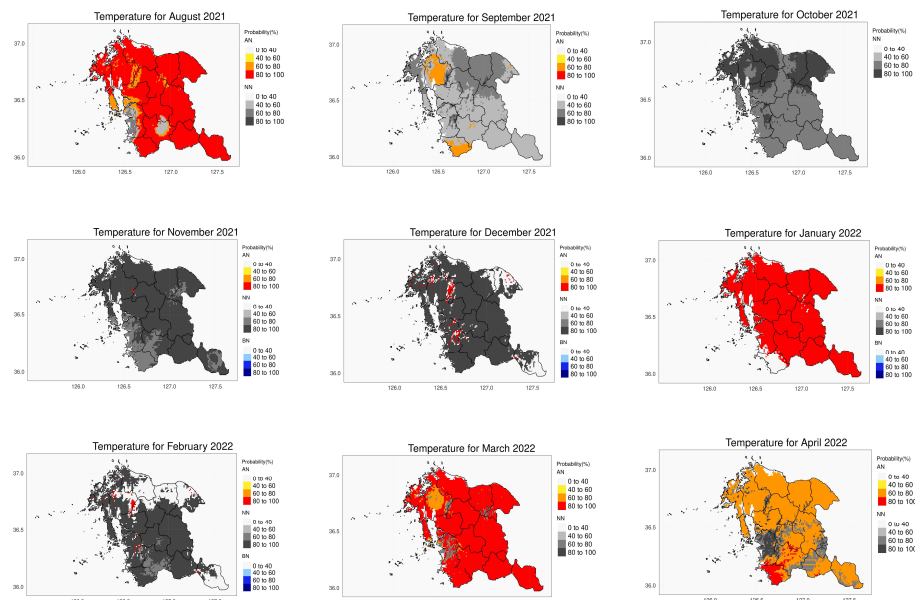
④ 강수 및 기온 예측

- 월별 관측자료로부터 확률예보 3개 구간의 범위 설정(Below Normal 33.3%, Near Normal 33.3%, Above Normal 33.3%)
- 5개 예측모형으로부터 3개 구간에 해당되는 모형의 개수를 이용하여 확률 결정
- 예측기간에 대한 격자별 강수 및 기온의 확률값을 이용하여 확률예보 지도 생산

- NMME 기반 전북지역에 대한 강수량 및 기온의 9개월 선행 확률예보 결과는 그림과 같다.



<NMME 9개월 선행 강우 예측 결과 (예측시점: 2021년 8월)>



<NMME 9개월 선행 기온 예측 결과 (예측시점: 2021년 8월)>

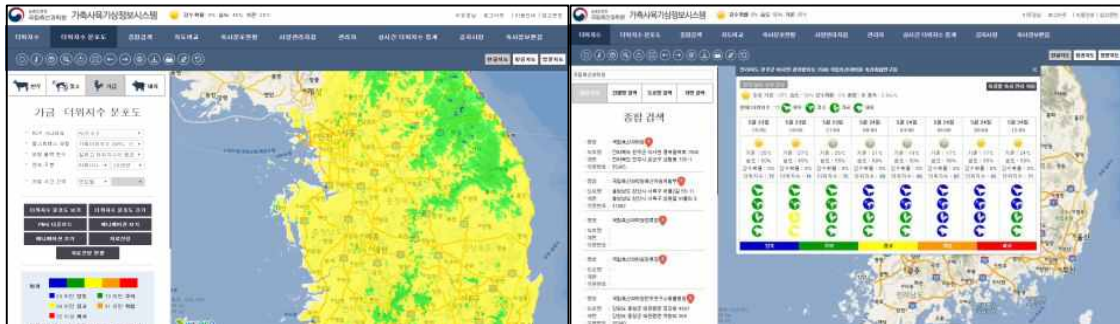
나. 가축의 고온 스트레스 분석을 위한 동적수치해석 개별 모듈 개발

○ 고온스트레스 평가 지표에 대한 자료 수집 및 분석

1) 국내외 선행연구 조사

- 국내 연구사례

- 고온스트레스에 대한 실시간 모니터링 및 예경보 시스템에 대하여 연구사례를 조사해본 결과, 농촌진흥청 국립축산과학원에서 폭염에 대한 가축피해를 줄이기 위해 가축사육 기상정보시스템을 개발하였다. 이는 기상청 기상관측 자료와 연계하여 지역별 실시간 날씨(기온, 습도 등), 열 스트레스 지수, 기상재해(폭염, 열대야 등) 발생 등의 위험성에 대해 축산농가에게 제공하는 기능을 구현하였다. 또한 축종 별로 열 스트레스 지수 맞춤 가축 및 축사 관리 지침을 제공하여 농가에서 고온스트레스 대응으로 가축의 생산성 저하를 방지할 수 있도록 구현하였다.
- 기후변화 시나리오 자료로서 IPCC의 RCP 시나리오(2.6, 1.5, 6.0, 8.5)에 따른 외부 기온 및 습도 변화를 고려한다. 축종은 한우, 육우, 가금, 돼지로 나뉘며 닭의 온습도 지수에 따른 열스트레스 단계는 NRC(1971), Pierre 등(2003) 및 Dikmen와 Hansen(2009)의 연구 결과를 기초로 열스트레스 모형을 표현하며 온습도 지수 단계에 따라 5가지 등급으로 나누어서 전자기후도를 제작하였다. 온습도 지수의 최대, 최소, 평균값을 지도상에 컨투어로 나타낸다. 그러나 한우나 육우 경우에는 자연환기를 주로 실시하나 무창이나 반무창 시설에서 사육되는 돼지와 닭의 경우에도 외부 온습도 변화로만 온습도 지수를 산정하였다. 대부분 계사의 내부 온도는 외기 온도 변화 양상과 유사하게 증가 및 감소하는 경향을 나타내고 있으나 외부기상에 따른 시설 내 미기상환경 변화를 모의하진 않았다는 한계점이 있다.

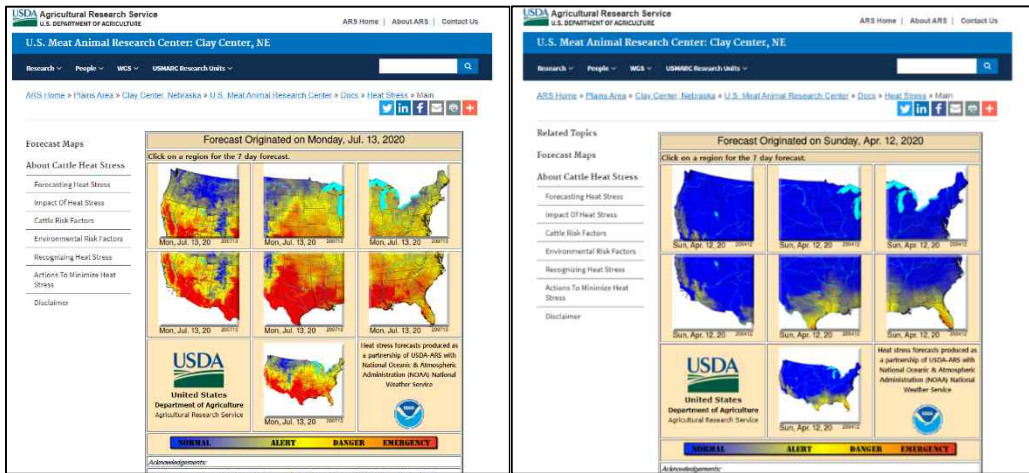


<축산원의 가축사육 기상정보시스템>

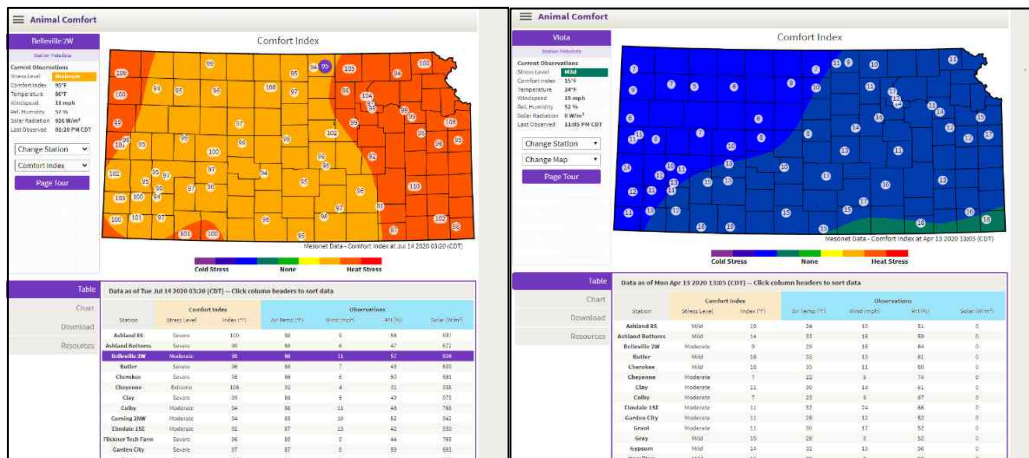
- 해외 연구사례

- 열 환경이 가축의 생산성에 얼마나 영향을 미치는지에 대한 연구는 오래전부터 현재까지 계속 진행되고 있으며 온도상승에 의하여 더위 스트레스가 증가하고, 이에 따라 생산성이 감소된다는 연구는 계속 나오고 있다. (Armstrong, 1994; Hahn, 1999; West, 2003)
- 해외 웹서비스 구축 연구사례로는 미국 농무성 USDA의 MARC(Meat Animal Research Center)에서 미국 지역별로 소에 대한 열스트레스를 산정하는 연구를 진행하였다. NOAA-NWS (National Oceanic and Atmospheric Administration-National Weather Service)에서 예보한 온도, 습도, 풍속, 운량의 4가지 기상요소를 고려하여 지도에 컨투어로 표현하였다. Ravagnolo et al. (2013)은 젖소에 있어 날씨정보로 계산된 온습도 지수는 열스트레스가 생산량에 미치는 영향을 설명할 수 있다고 보고하였다.

- 또한 캔자스 주립대학에서 열과 추위에 약한 동물의 스트레스를 종합기후지수 (Comprehensive Climate Index; CCI)로 표현하였다. 대기온도, 상대습도, 풍속, 일사량의 기상요소를 통합하여 산정하였다. (Mader et al., 2014)



<소에 대한 고온스트레스 예보 시스템 (USDA)>



<동물의 종합기후지수 (고온, 저온, 스트레스 포함) 제공 시스템>

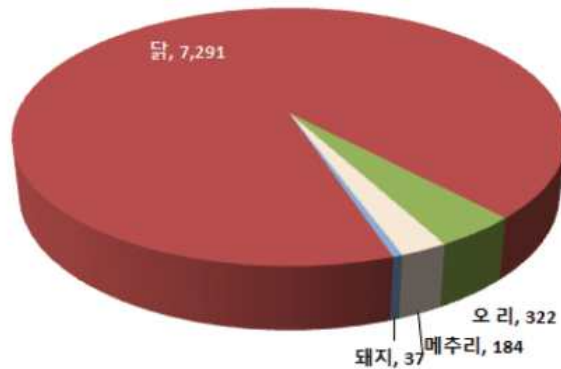
(Kansas State University)

2) 우리나라 폭염으로 인한 양계 피해 현황

- 가축사육이 집중된 전라도 지역에서 폭염으로 인한 폐사 피해 급증하였는데, 한 예시로 2018년 7월에 폭염으로 인해 전국서 5일간 가축 42만여 마리가 폐사하였다. 축종별로 피해를 분석해본 결과 닭 97%, 오리 2.5%, 돼지 0.5%로 닭이 절대적으로 높은 비중으로 이는 가금류가 체온이 높고 깃털로 덮여 있어 체온조절이 어렵다. 또한 대부분 공장식 밀집 축사에서 사육되어 기본 면역력이 약하고 스트레스에 취약해 기온이 올라가면 폐사로 이어지는 경우가 많다. 결국 닭의 온도 적응력은 타가축에 비해 매우 낮아 하절기 고온 스트레스 문제가 심각한 상황이다. 지역별로 분석해본 결과는 전북이 42%, 충남 33%, 전남 21%으로 육계산업이 큰 전북이 가장 큰 비중을 차지하였다.
- 지구온난화로 인한 폭염 발생빈도는 점차 증가할 것으로 예상됨에 따라 농가에서 폭염 피해를 입었을 경우 경제적 손해를 최소화하기 위한 대응방안으로 정보가 보험료의 50%를 지원하는 정책성 보험인 가축재해보험이 있는데, 이 보험의 최근 폭염으로 인한 손해

액을 조사하였다.

- 2016년부터 2018년까지 가축재해보험 손해액은 가금류의 경우 2천 440억원으로 집계되었으며 사육방식과 가축의 특성 때문에 폭염에 취약한 가금류는 폐사가 늘면서 손해액이 2배 증가하였다. 한국 금융에 따르면 2016년 농협손해보험의 폭염재해보장특약 손해율이 가축 종류 중 닭이 2168%이며, 남부가 2060% 지급되었다. 그래서 2019년 전라남도는 가축 폭염피해를 예방하기 위하여 3가지 사업에 94억원을 투입하였으며, 이는 폭염방지시설 및 장비(환기 및 송풍팬, 쿨링 패드, 안개 분무기 등) 지원, 고온스트레스 완화제 보급, 가축 재해보험료 사업이다.



<2018년 폭염 피해로 인한 축종별 가축폐사>

- 고온으로 인하여 닭 건강에 미치는 영향으로는 직접적으로는 질병으로 인한 폐사가 있고 간접적으로는 면역성 저하, 사료와 물 섭취 부족 등이 있다. 이러한 고온상태의 환경 변화에 적응하기 위해 생산성 및 번식성이 달라지게 되는데, 체온이 상승하고 물먹는 양이 증가하게 되면 상대적으로 사료 섭취량은 감소하여 체중손실을 야기한다. 또한 체내의 영양 및 호르몬 등의 균형이 깨지고 비타민의 합성능력 저하, 외부 환경에 대한 저항능력이 떨어져 탈수로 인한 혈액 전해질 불균형으로 질병에 대한 저항능력이 감퇴하고 폐사 등이 일어나게 된다.
- 습도가 높아지면 열량지수가 높아져 스트레스를 받게 되고 계분도 질어지게 되어 톱밥, 왕겨, 대팻밥 같은 수분조절재가 많이 들어가게 된다. 닭이 견딜 수 있는 고온 한계온도는 26.7°C 정도이며, 이때부터 성장이 지연되기 시작하고 32°C가 되면 체온과 호흡수가 상승한다.
- 종에 따라 보면 육계의 경우 30°C가 넘으면 사료 섭취량이 감소하여 도체중이 감소하고 닭고기의 초기 pH가 감소하며, L값 및 전단력은 증가하고 육즙이 손실된다고 한다. (Feng et al. 2008) 산란계는 산란 및 번식 활동이 감소하여 이는 사료섭취량 감소에 의해 나타나는 것만이 아닌 배란관련 호르몬을 교란하고 황체형성호르몬에 대한 과립층세포의 반응성을 감소시키기도 한다. (Novero et al. 1991). 고온스트레스는 산란을 감소뿐만 아니라 난중, 난각 두께, 회분 함량도 감소시키는데 이중 혈중 칼슘이온 함량의 감소와 칼슘대사의 이상반응에 기인한 것이다. (Odom et al. 1986)

3) 문헌조사를 통한 고온스트레스 평가지표 기초자료 확보

- 고온 스트레스란 동물이 항상성을 유지할 수 없는 열 부하의 결과로서 열균형성은 복잡하며 여러 기후요인(주변 온도, 상대 습도, 풍속, 복사열 등), 가축요인(연령, 생식 상태,

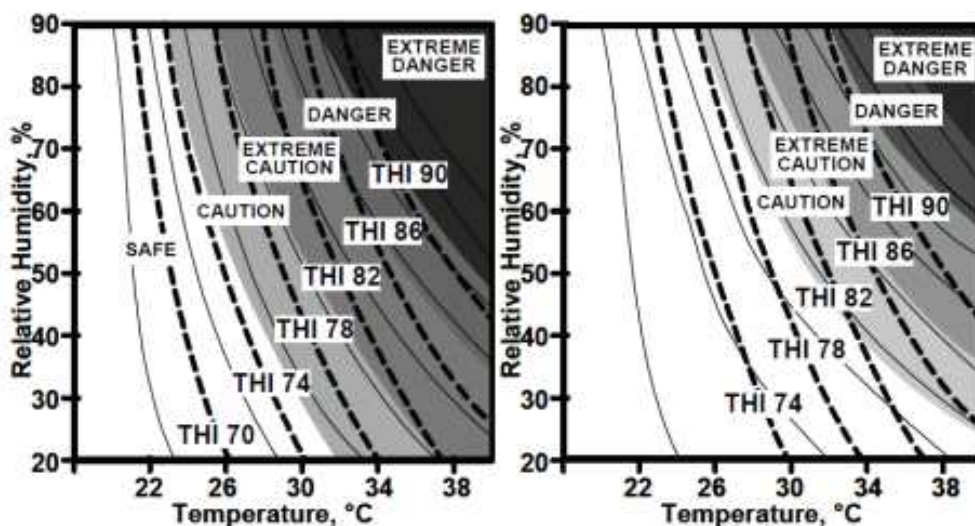
신체 활동성, 적응력, 건강상태, 대사작용에 의한 열방출, 유전자형 등), 관리요인(하우징, 그늘 제공, 팬 및 스프링클러, 영양 관리 등)의 영향을 받는다. 가축의 열 손실 및 증가는 대류, 전도, 증발, 복사, 호흡에 대한 함수이다. 현열은 주변 온도가 체온보다 높을 경우 대류를 통해 열을 얻을 수 있으며, 지반이나 물과 같은 표면과의 접촉을 통해 전도로 열을 얻을 수 있다. 또한 잠열은 증발을 통해 열을 잃을 수 있고 호흡은 현열과 잠열에 모두 연관이 있다. 이러한 요소들은 모델 개발에 모두 고려해야 할 필요가 있다.

- 가축의 고온스트레스 연구는 열부하를 완화하기 위하여 열을 관리하는 방법에 맞추어 연구가 예전부터 진행되어 왔다. 가장 많이 나타내는 지수로는 온습도지수(Temperature Humidity Index, THI)가 있으며, 이는 기후 자료를 이용하여 고온스트레스가 가축에 미치는 영향을 나타내며 가축의 생산성을 예측하는데 유용하다.
- THI 지수는 열부하의 가장 일반적인 경험에 의한 회귀식 모델로 다양한 형식으로 존재하지만 이 지수는 열복사(태양복사, 장파복사), 풍속, 노출시간 등을 전혀 고려하지 않는다. 또한 유전자형, 품종 또는 기타 동물 차이(연령, 생산 수준 등)를 고려하지 않는다는 한계를 가지고 있다. 그러므로 기존의 지수를 수정하려는 시도가 계속되고 있으며 새로운 지수 개발에 대한 연구가 끊임없이 이루어지고 있는 실정이다.
- 태양 부하를 설명하기 위해 Buffington et al.(1981)은 더운 조건에서 노출된 젖소의 우유 생산 감소를 설명하기 위해 BGHI(Black Globe Humidity Index) 지수를 개발하였다. BGHI는 본질적으로 주변 온도를 건구 온도가 아닌 흑구 온도로 대체한 것이며 이로써 주변 온도, 태양 복사 및 바람의 대류 냉각 효과를 온도 값으로 통합하여 사용한 것이다.

$$BGHI = T_{BG} + (0.36 \times T_{DP}) + 41.5 \quad (1)$$

- Baeta et al.(1987)은 젖소의 열 방출과 우유 생산에 대한 영향을 평가하기 위해 대기 중 온도와 습도의 영향을 유속과 결합한 ETI(Equivalent Temperature Index)를 개발하였다. ETI 지수는 주변 온도, 상대 습도, 풍속을 단일 지수로 통합하였으며 주변온도가 16 ~ 41°C, 상대습도가 40 ~ 90%, 풍속이 0.5 ~ 6.5m/s인 경우에 적용된다. 이 지수는 고온 및 습도의 영향을 개선하는데 있어 공기 이동의 중요성을 보여준다.

$$ETI = 27.88 - 0.456 \times T_{DB} + 0.010754 \times T_{DB}^2 - 0.4905 \times RH + 0.00088 \times RH^2 + 1.15 \times V - 0.12644 \times V^2 + 0.019876 \times T_{DB} \times RH - 0.046313 \times T_{DB} \times V \quad (2)$$

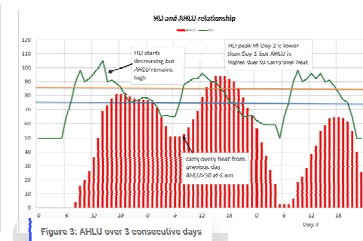
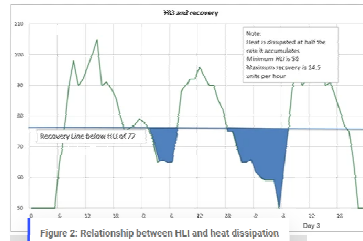
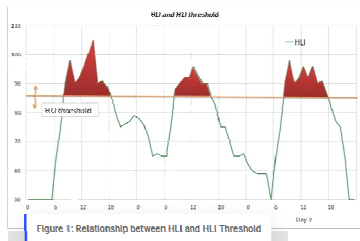


<공기 유속이 0.5m/s (왼쪽), 6m/s (오른쪽)일 때의 ETI와 THI 지수 비교>

- Gaughan et al., (2010)는 열스트레스를 평가하기 위한 전통적인 온습도지수와 함께 열부하지수(HLI, Heat Load Index)가 효과적인 열 영향 평가에 고려될 것을 제시하였다. 사육장 내 육우를 위해 개발된 이 지수는 호흡률, 체온 및 사료 섭취량 같은 생물학적 요인과 품종 차이 및 그늘 같은 관리 요인을 설명할 수 있다. HLI는 소의 혈떡거리는 정도에 대하여 흑구 온도, 상대습도, 풍속의 영향을 단일 지수로 설명할 수 있으며 25°C의 흑구 온도 임계값을 기준으로 두 부분으로 구성된다. 또한 복사 강도와 노출 지속시간에 대하여 고려하기 위해 축적열 부하(AHLU, Accumulated Heat Load Unit)를 개발하였다. 이는 가축에게 누적될 수 있는 열의 양을 측정하는 것으로 HLI의 임계값 이상에 노출되면 심부 체온이 상승하게 된다. 임계값을 초과하는 노출시간이 클수록 AHLU가 커지고 고온에 대한 스트레스도 커지게 된다. 이 값을 통해 HLI 임계값 보다 높은 낮에 얻은 열을 임계값 보다 낮은 밤에 방출한 경우와 야간 냉방이 부족하여 방출하지 못한 경우에 대하여 열스트레스 영향성을 판단할 수 있다.

$$HLI_{TBG > 25} = 8.62 + 0.38 \times RH + 1.55 \times T_{BG} - 0.5 \times V + e^{(2.4 - V)} \quad (3)$$

$$HLI_{TBG < 25} = 10.66 + 0.28 \times RH + 1.30 \times T_{BG} - V$$



<열부하지수와 축적열부하의 관계>

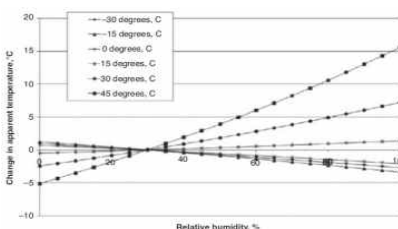
- 종합기후지수 (CCI, Comprehensive Climate Index)는 -35~45°C의 온도 범위 내에서 개발된 지수로 덥고 추운 조건을 모두 포함하는 광범위한 기후조건을 고려하여 HLI를 기반으로 주요 환경 요소를 통합하였다. 이 지수는 온도, 상대습도, 풍속 및 일사량의 결합된 효과를 단일 지수 안에 통합하였으며, 가축을 둘러싼 환경 조건에 대한 상대적 지표를 제공하고 태양복사, 풍속 및 상대습도가 주변 온도와 어떻게 상호 작용하여 주변 온도를 조성하는 겉보기 온도를 정량화하는 지수이다.

$$CCI = T_a + RH \text{ correction factor} + WS \text{ correction factor} + RAD \text{ correction factor}$$

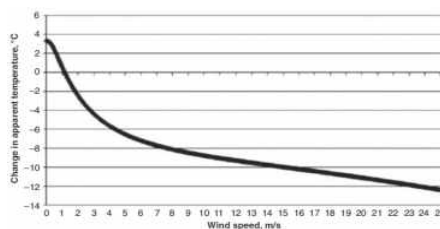
$$RH = e^{0.00182 \times RH + 1.8 \times 10^{-5} \times T_a \times RH} \times (0.000054 \times T_a^2 + 0.00192 \times T_a - 0.0246) \times (RH - 30) \quad (4)$$

$$WS = \frac{-6.56}{e^{-(2.26 \times WS + 0.23)^{0.45 \times (2.9 + 1.14 \times 10^{-6} \times WS^{0.25} - \log_{10}(2.26 \times WS + 0.33))^{-2}}} - 0.00566 \times WS^2 + 3.33$$

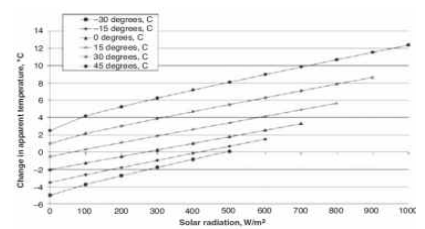
$$RAD = 0.0073(RAD - 0.00002 \times RAD \times T_a + 0.00005 \times T_a \times \sqrt{RAD}) + 0.1 \times T_a - 2$$



여러 주변온도에서 상대습도에 따른 CCI



공기 유속을 기반으로 한 CCI



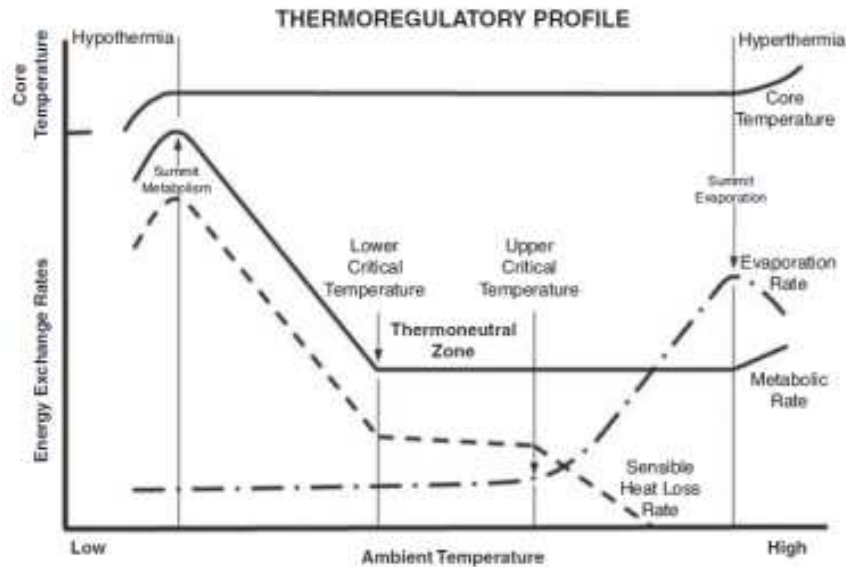
주변온도에서 일사량을 기반으로 한 CCI

<상대습도, 풍속, 일사량에 따른 겉보기온도의 변화량>

- 이러한 다양한 기후 변수에 대하여 여러가축 변수 간의 복잡성을 나타내는 지수들이 연구되고 있다. 새롭고 복잡한 모델들은 보통 소, 돼지, 칠면조에 관련된 연구들이었으며 가금에 대하여 산출한 고온스트레스 지수는 다음 내용과 같다.

4) 육계에 대한 고온스트레스 평가

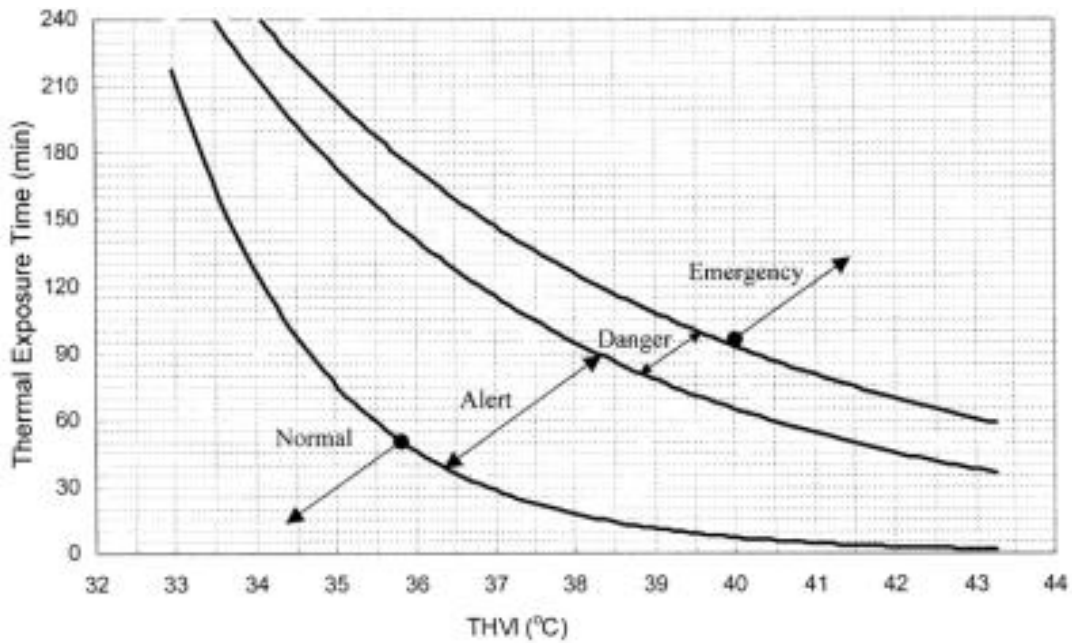
- 가금류는 항온성 동물로, Figure 그래프에서 보다시피 열환경을 복합적으로 나타낸 유효 환경온도 (EET, Effective Environmental Temperature)가 상하한 임계온도 내인 열중립권(TNZ, Thermo Neutral Zone) 내에 있을 때 성체 닭의 중심온도는 41.2°C로 유지된다. 유효환경온도가 상한임계온도 이상으로 상승하면 사료 및 물 섭취가 감소하고 증발율이 늘어나는 듯 생물물리적 방어 메커니즘이 작용한다. 유효환경온도는 건구온도, 습도, 풍속, 일사, 강수에 관한 함수로서 이 온도를 잘 유지하기 위함이 중요하다.



<주변온도에 따른 항상성 가축의 에너지 교환 (Mount et al.,1974)>

- 육계에서 가장 대표적으로 많이 쓰이는 THI 지수를 산출한 X. Tao and H. Xin(2003)은 고온 환경에 노출되었을 때의 열 스트레스를 개발하였다. 또한 하절기에 터널환기로 생육 되는 육계의 경우 공기 유속의 상대적 중요성이 큼을 고려하여 THVI(Temperature Humidity Velocity Index) 지수를 개발하여 육계의 항상성에 대한 3단계 요인을 고려하였다. 실험은 생후 46±3일의 수컷 육계로 진행되었으며, 3단계의 건구 온도 (35°C, 38°C, 41°C), 2단계의 이슬점 온도 (19.4°C, 26.1°C), 3단계의 공기 유속 (초속 0.2m, 0.7m, 1.2m)으로 나누어 총 18개의 조건에서 실시하였으며, 30분 동안 측정된 육계의 체온을 기준으로 체온 상승을 산정하였다. 수식상으로 보아 육계의 경우 현열과 잠열의 가중치 비율을 85:15로 나누었으며, 공기 유속에 대한 폐사율이 선형적이지 않아 지수함수 형태로 다음과 같은 산정식을 도출하였다. 또한 노출시간에 따른 동적 THVI 프로파일을 추출하여 다음 그래프에 나타내었다. 이 그래프는 무게 2.8kg의 육계에게 갑작스럽게 고온에 노출되었을 경우 필요한 체온 조절 능력을 평가하기 위한 정량적 척도를 제공한다.

$$THVI = (0.85 T_{DB} + 0.15 T_{WB}) \times V^{-0.058} \quad (5)$$



<갑작스러운 고온에 노출된 시간에 따른 육계의 항상성 구역>

- 최근 육계에 대한 고온스트레스 평가 연구로 (Chepete et al., 2005)는 생장 단계에 따른 육계의 THI 지수를 유도하기 위해 연구를 수행하였다. 실험 방법은 약 1700마리의 육계를 6주에 걸쳐 여름과 겨울에 자연 환기하며 사육하였으며 사육 주수에 따라 온습도지수를 산정하였다.

$$\begin{aligned}
 THI_{3-4WK} &= 0.62 T_{DB} + 0.38 T_{WB} \\
 THI_{5-6WK} &= 0.71 T_{DB} + 0.29 T_{WB}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

- Moraes et al. (2008)은 THI 지수에서 제안하는 육계와 산란계의 고온스트레스 지표가 다른 지역에도 부합하는지 평가하기 위해 연구를 수행하였다. 지역의 기상데이터를 수집하고 양계업 현황을 비교하여 THI 값이 나타내는 지표에 따른 양육환경이 적절한지 확인하였다.

$$THI = 0.8 T_{DB} + \frac{RH(T_{DB} - 14.3)}{100} + 46.3
 \tag{7}$$

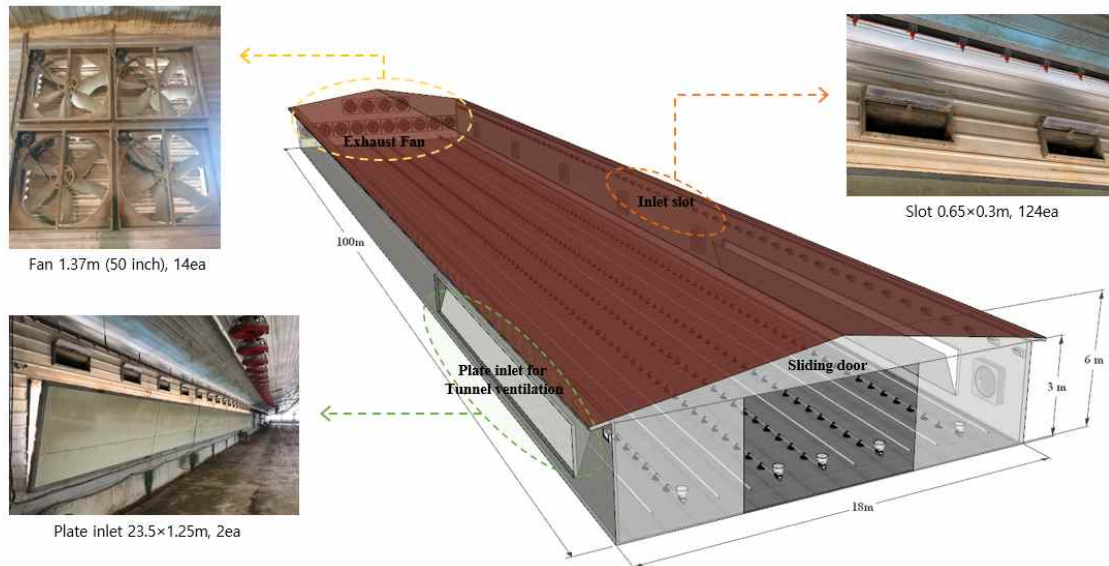
- 육계에서도 흑구온도에 따른 BGHI를 산출하는 연구가 지구통계학을 이용하여 수행되었으며 (Patricia et al., 2013), 유전자, 영양상태, 관리상태, 열대 및 아열대 지방에 따른 생육환경이 미치는 영향을 BGHI로 근사화하고자 한 연구도 수행되었다. (Marcia et al., 2016) Moura et al. (2015)는 체중 변화량을 요인으로 두어 체중 감소가 고온스트레스와 관련된 환경 변수임을 확인하기 위하여 연구를 수행하였다. 또한 최근에는 THI 지수가 온도와 습도를 이용한 간접적인 지수인 한계점을 보완하기 위해 행동 모니터링 데이터를 수집하여 딥러닝에 적용시켜 두 요인을 통합함으로써 닭의 종이나 사료 등에 따라 달라질 수 있는 고온스트레스 평가지표를 확대하기 위한 연구를 수행하였다. (Chen et al., 2018) 다음과 같은 육계 내에서도 다양한 온습도 지수 평가 기준과 한계 설정이 있으나 (Table 1, 2) 이번연구에서는 Tao and Xin(2003)에 따른 건구온도, 습도, 공기 유속, 노출시간에 따라 가축의 고온스트레스를 평가할 예정이다.

○ 가축 고온스트레스 분석을 위한 동적수치해석 모델의 개별 모듈 개발

1) 현장실험을 통한 계사의 실질적 중요 변수 분석

- 실험 대상 시설 소개

- 계사의 고온스트레스를 평가하기 위해 내외부의 온도 및 습도 등 내부환경을 모니터링하기 위하여 영광군 영광읍 덕호리 소재에 하림 계열사 육계사 농장을 선정하였다. 시설 농장의 규모는 폭 18m, 길이 100m, 측벽 3m, 피크 6m이며, 1회전 사육동안 해당 계사에서는 34,000 수수를 사육한다. 1회전 사육 기간은 약 한달정도로 입수시 평균 무게는 45g이며, 출하시 평균 무게는 1.700kg이다. 평균 일일 증체율은 약 50 ~ 60g이다. 다음 그림은 대상 농장의 외부 전경 및 내부 구조 모습이다.
- 또한 전북 김제시 하신리 소재에 강제환기식 육계사 농장을 추가로 선정하였다. 시설 농장의 규모는 폭 18m, 길이 78m, 측벽 4m, 피크 6.4m이며 1회전시 약 4주간 32,000수 수를 사육한다. 이 시설은 하절기에 쿨링패드 (24×1.5m)를 가동하여 내부를 적정환경으로 구축하려 노력하며 출하후 청소 기간마다 바닥재를 교체하여 사육성적 제고 노력한다.
- 대상 육계사의 환기는 부압식 강제환기로서 겨울철에는 크로스환기, 여름철에는 터널환기, 환절기에는 두 환기를 시간에 따라 바뀌가며 이용하는 복합환기를 적용하고 있다. 크로스환기는 계사의 측벽을 따라 한쪽에는 배기팬일 설치되고, 그 반대쪽에는 입기구가 설치되어 공기의 유동이 계사의 짧은 방향으로 이루어지는 환기이다. 터널환기방식은 계사의 길이방향을 따라 한쪽에는 배기팬이 설치되고 반대쪽에는 입기구가 설치되어 내부의 오염된 공기를 배기팬을 이용해 외부로 배출하면 반대쪽에서 공기가 유입되어 돈사의 길이 방향을 따라 빠르게 공기가 이동하면서 내부의 공기를 배출하는 형태이다. 공기 흐름 속도가 빠르기 때문에 체감온도를 낮출 수 있는 효과로 인하여 하절기의 환기 방식으로 주로 적용되고 있다. 이와 같은 환기방식은 공기가 유입되는 쪽과 배출되는 쪽의 온도차가 비교적 크게 나타난다.
- 시설 농장에 설치된 설비는 크로스환기할 때 이용하기 위해 육계사 측벽에 위치한 0.65m × 0.3m 규격의 입기 슬롯이 양쪽에 62개씩 총 124개가 설치되어 있어 크로스 배기팬을 통한 강제환기를 실시하며 터널환기할 때에는 2단으로 설치된 터널배기팬이 가동된다. 외부의 공기를 유입하기 위한 입기구는 23.5m × 1.25m의 측벽 입구가 양쪽으로 열리는 구조로 설치되어 있으며, 터널배기팬 (Euroemme EM50; Munters, Sweden)의 프로펠러 직경은 1.27m, 최대 유량은 42,125 CMH를 나타낸다. 해당 농가 주변으로 마을과 버를 재배하는 논이 있기 때문에 시설 외부로 배출되는 분진과 악취가 인근 마을에 확산되거나 농작물 피해를 줄 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해 터널배기팬으로부터 3.0 ~ 4.0m 앞에 방풍벽이 설치되어 있다.



<실험 대상 시설 규모 및 내부 환경 설비 현황>



(a) 대상 농장 외부 전경



(b) 대상 농장 앞



(c) 대상 농장 내부



(d) 육계사육시 내부

<실험 대상시설 내외부 모습>

- 육계사 내부 미기상 상시 모니터링 및 시계열 분석

- 육계사 내 미환경 환경 분석을 위해 18m × 100m 계사에 온습도를 측정하기 위하여 센서를 3열로 하여 20m 간격으로 총 12개의 센서를 설치하여 5분 간격으로 기록하였다. 20년 9월 25일에 닭이 입추되어 10월 28일 출하될 때까지 측정하여 계사 내 구역별로 온도 변화를 확인하였다. 자료 수집 기간이 하절기보단 환절기이므로 터널환기보단 음압식 입기구를 이용한 환기를 통해 닭의 생육환경을 적정 수준으로 맞춰주었다.
- 외부의 상대습도가 밤에는 90% 이상으로 상승하고 낮에는 낮아지며, 외부습도의 변화에 계사 내부 습도가 절대적으로 영향을 받는 것을 알 수 있다. 낮에는 적정 기준보다 낮고

밤에는 더 높은 현상이 반복되고 있다. 적정습도범위는 1주령때 70%이고 3주령 이후에는 60%인데, 실제 계사 내에서 측정된 습도는 적정 습도와 비교적 유사하게 측정 되었다. 사육중반 이후에도 습도 증가 폭이 외기에 의한 영향이 지배적이며 생육 기간 전체동안 증가하는 경향은 없는 것으로 보이는데, 이는 이번 생육기간에 바닥재를 새로 깔았으며 환기에 의한 바닥재 수분량 증가는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다.



HOBO 센서

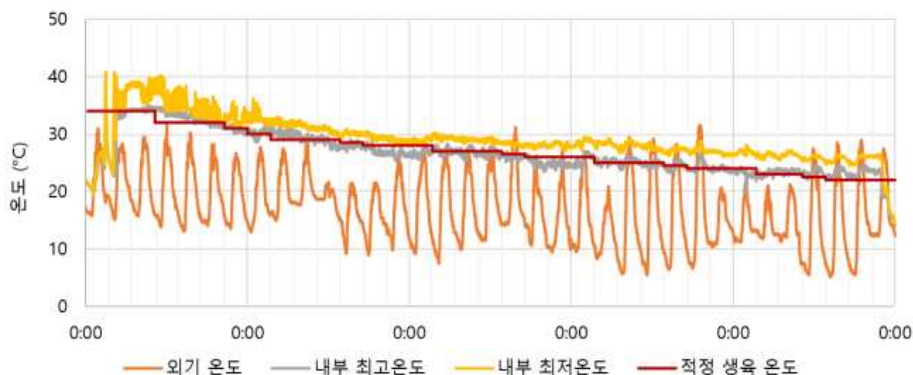


(a) 내부 온습도 측정용 센서 (b) 실험 농가에 설치 (c) 대상 농가에 설치하는 모습
<축사 내부 온습도 측정을 위한 설치 모습>

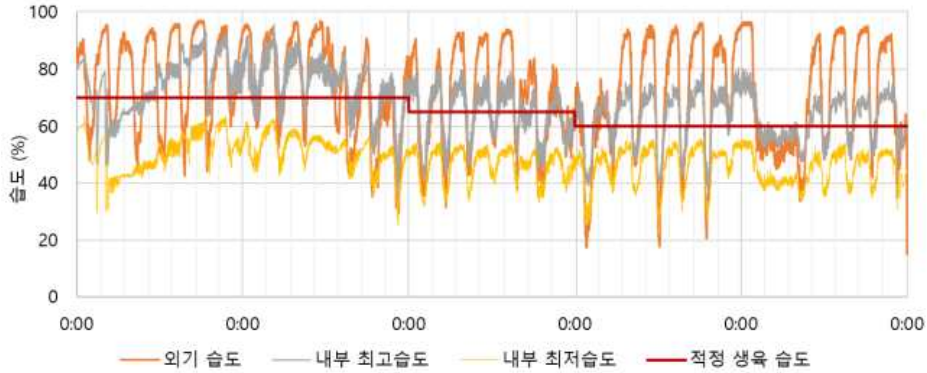
<육계의 일령별 적정 사육 온도 및 습도 (농촌진흥청, 2016)>

일령	적정 온도 (°C)	적정 습도 (%)
1 ~ 2	34	70
3 ~ 4	32	70
5 ~ 7	30 ~ 32	70
8 ~ 14	28 ~ 29	65
15 ~ 21	26 ~ 27	60
22 ~ 28	24 ~ 25	60
29 ~ 35	22 ~ 23	60
36 ~ 42	21 ~ 22	60

- 대상 육계사의 운영 데이터를 분석한 결과 초기 1 ~ 5일령 시 나타난 내부 온습도 환경의 편차는 상당수 온풍기의 가동에 따른 영향이 큰 것으로 보인다. 입주 초기의 경우에 적정 사육온도인 35°C보다 평균 0.07°C 높게 사육됐으며, 온풍기 가동이 필수적이므로 적정 습도인 70%보다 평균 5.25% 낮게 사육된 것으로 측정 되었다. 전체 사육 기간동안 비교적 온도는 농진청에서 제시한 값과 거의 유사하게 생육되었다. 닭이 22일령까지 성장했을 땐 몸집도 커지고 체내 발열량이 증가하여 외기온도가 높은 날에는 낮에 터널 배기팬 2 ~ 3개를 이용하여 음압식 환기를 하였다. 내부 온도를 낮추면서 환기를 통해 공기질도 개선하고 내부 습도도 낮추는 효과가 있는 것을 알수 있다.



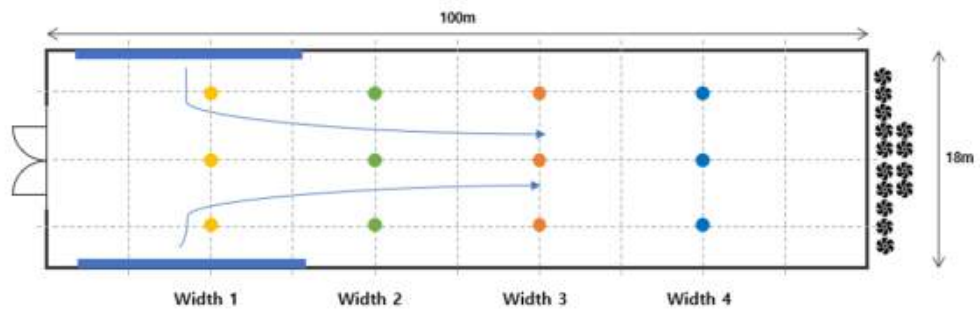
(a) 생육 기간동안 계사 내부 온도값과 적정 생육온도



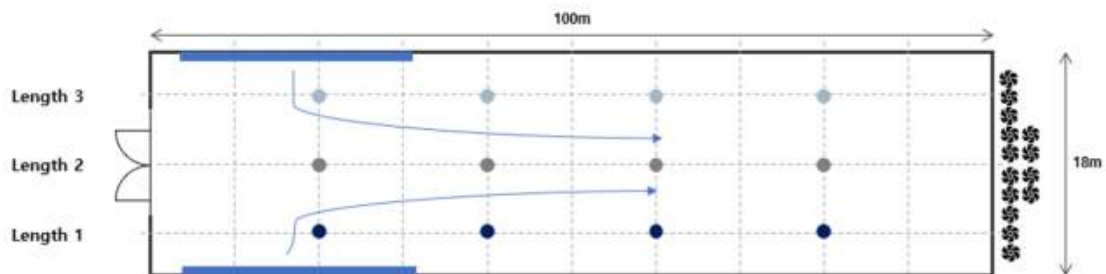
(b) 생육 기간동안 계사 내부 습도값과 적정 생육습도

<생육 기간동안의 측정된 계사 내부 온습도 값>

- 계사 내부의 온습도를 구역별로 분석하기 위하여 계사를 짧은 폭방향과, 긴 길이방향으로 나누어 방향에 따른 온습도를 나누어 보았다. 그림 (a)에서 나타나는 것처럼 계사를 폭방향으로 4개 나누어 입기구에 가까운 쪽을 W1번, 배기구에 가까운 쪽을 W4번이라 하였다. 입기구부터 배기구까지의 온도와 습도 경향은 반대인 것을 볼수 있다. W1이 가장 온도가 낮았고, W4가 가장 온도가 높았으며 두 구역의 평균 온도 차이는 1.57 °C로 측정되었다. 습도는 반대로 W1의 습도가 가장 높고 W4의 습도가 가장 낮았으며 두 구역의 평균 습도 차이는 10.19%였다.
- 다음으로 그림에서 (b)에서 나타나는 것처럼 계사를 길이 방향으로 3개 나누어 입기구에서 배기구를 바라볼 때 오른쪽을 L1번, 가운데를 L2번, 왼쪽을 L3으로 하였다. 길이 방향으로 나누어 분석 한 결과 3 구역에 따른 온도와 습도 차이는 크지 않은 것으로 보이며, 일령 초기에만 L2의 온도가 높고 습도가 낮은 것을 볼수 있는데 이는 열풍기 설치 방향을 계사 중간으로 하여 양쪽으로 따뜻한 공기가 퍼지도록 하였으므로 그에 대한 영향으로 분석된다.

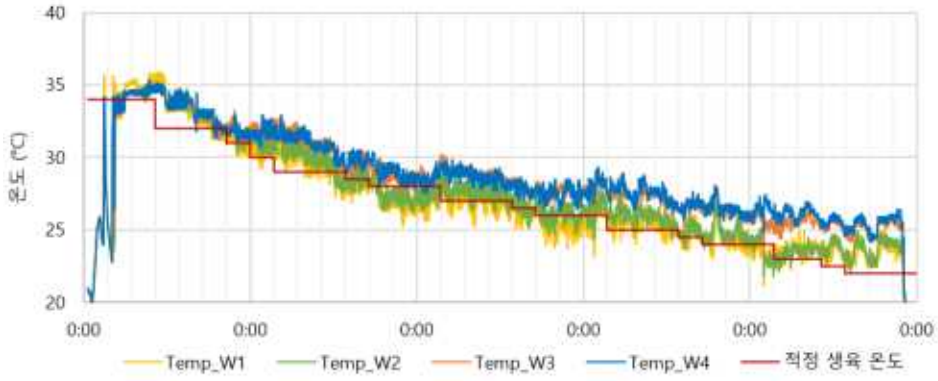


(a) 계사 폭방향으로 나누어서 온습도 분석

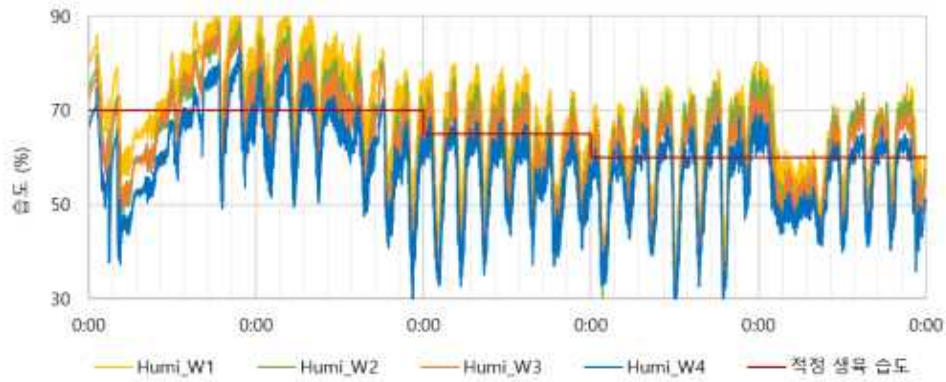


(b) 계사 길이방향으로 나누어서 온습도 분석

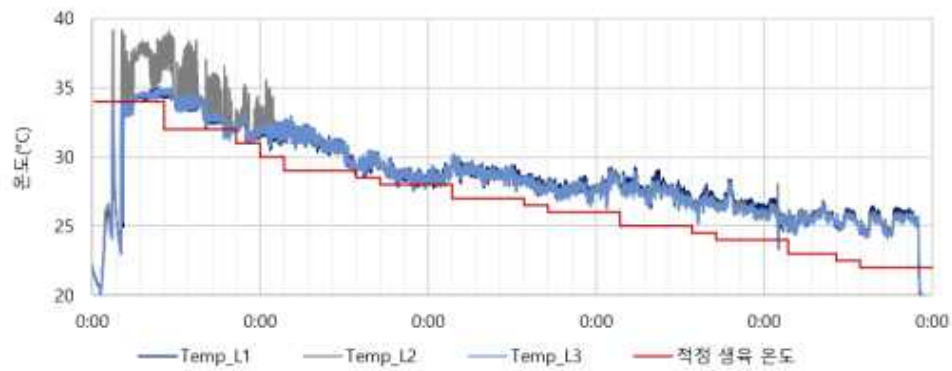
<계사 폭 및 길이 방향에 따른 온습도 분석>



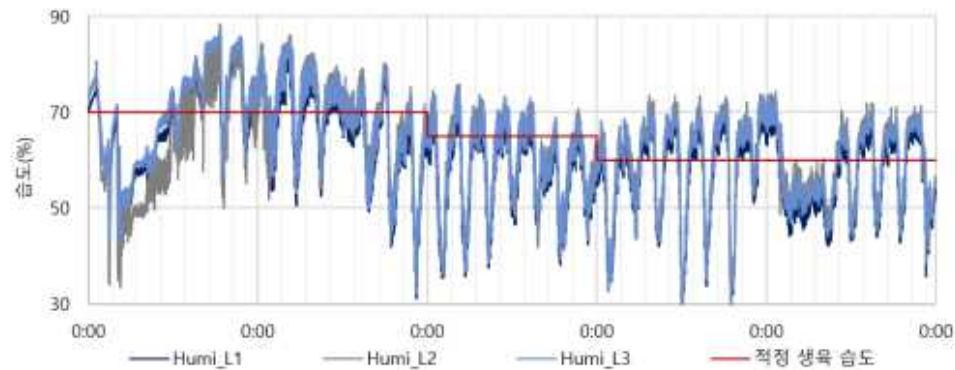
(a) 계사 폭방향에 따른 내부 온도값 (계속)



(b) 계사 폭방향에 따른 내부 습도값
<측정된 계사 폭방향에 따른 내부 온습도 값>



(a) 계사 길이방향에 따른 내부 온도값



(b) 계사 길이방향에 따른 내부 습도값
<측정된 계사 길이방향에 따른 내부 온습도 값>

- 구역별 유속 변화량 현장 모니터링

- 육계사의 생산성을 향상하기 위하여 사육환경을 지속적으로 해야하나 환기가 불량일 경우 성장에 영향을 주게 된다. 생육 관리에 필수적인 계사의 환기는 축사의 설치 위치, 방향, 주변 건물간 배치, 환기 방식, 환기 시스템 특성, 사육밀도 등에 따라 상이하다. 또한 현행 환기팬 제어 시스템은 온습도 외에도 다양한 환경변수를 기반한 제어가 가능하지만 측정 장비의 가격, 유지 보수 등의 문제로 적은 축점에서 오로지 온도 실측 데이터에 기반한 환기 알고리즘에 의하여 운영되고 있다. 대형화된 시설일수록 지역적 환경변수에 대한 차이는 비교적 크게 발생할 수 있으므로 지역적 불균일성을 해결하는데 많은 한계가 존재한다. 또한 과거의 축산농가에서 사육되는 가축은 소규모 사육 형태로 농장주가 사육하는 가축을 육안으로 직접 관찰하고 관리할 수 있었다. 즉 축산시설 내부의 환경관리는 가축의 밀집정도나 상태가 변화하는 것을 지켜보면서 농장주의 판단을 통해 환경관리를 위한 환기를 수행하였다. 그러나 축산물의 소비량이 증가하며 생산력이 증대됨에 따라 축산시설이 대형화되고 밀집사육이 이루어지고 있다. 따라서 계사 내부의 온열환경이 균일하고 생육에 적절한 환경을 구축하기 위하여 적절한 환기가 이루어지는지 공기 흐름에 대한 정량적 분석을 실시하기 위하여 현장실험을 수행하였다.
- 먼저 하절기에 계사에서 보통 이용하는 터널식 환기 방식은 계사의 폭이 넓은 경우 입기구와 배기구 근처에서 서로 다른 온도와 습도를 갖는 공기 유동을 만들어내고(Song, 2011) 이와 같은 계사 내의 불균일한 환경은 육계의 위치에 따라 불균일한 생장을 보이게 되는 원인이 된다. (Xinjie Tong et al., 2018). 이에 육계사 내부를 여러 구역으로 나누어 정체구간을 찾고 구역별 고온스트레스 지표 평가가 좀더 세밀하게 필요하다. 그러므로 내부 온열환경 균일성 평가를 위해 터널환기시에 구역별로 온도와 풍속을 측정하였다.
- 터널식 환기는 닭의 주령 별로 적정 사육 온도범위를 맞추기 위해 내부온도와 외부온도에 따라 환기팬을 가동하고 멈추는 방법으로 환경이 조절되고 있다. 원하는 온도 범위보다 측정된 내부 온도가 초과하는 정도가 클수록 더 여러개의 팬을 가동하게 된다. 극한의 더위인 날에는 모든 팬을 다 가동하는데 이는 적합한 환경의 조절보다 더위에 의한 닭의 열적 스트레스를 방지하는 것에 초점이 맞춰져 있다. 이번 실험에서는 대상시설에 설치되어 있는 14개의 모든 팬을 가동한 뒤 구간별 내부 유속을 10초마다 수집하여 3분동안 측정하였고 3번 반복실험을 진행하였다. 유속 측정 높이는 0.4m로 계군 높이에서 내부 온도 균일성을 평가하고자 하였다.



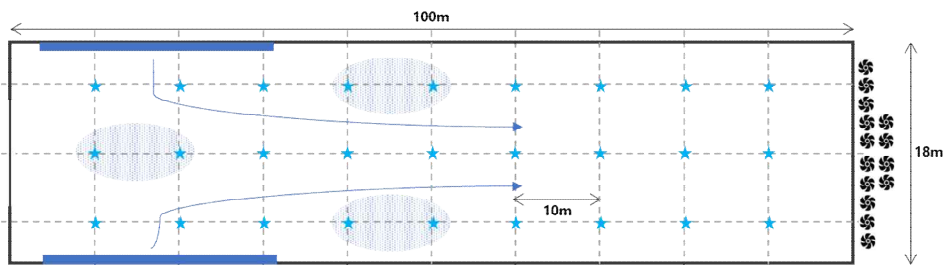
(a) 여름철 터널 환기하는 계사



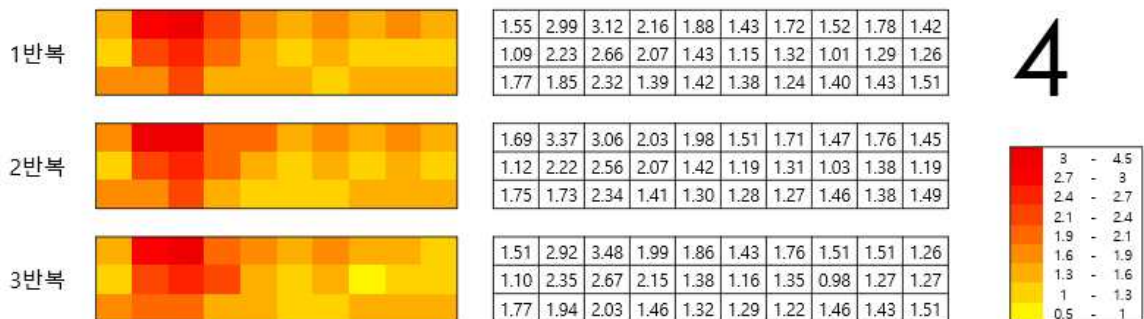
(b) 계사 내부 유속 측정

<계사 구역별 유속 변화량 측정 모습>

- 내부 유속은 고온스트레스 지수를 분석할 때 하나의 인자인 만큼 온습도와 같이 고려해야 할 중요한 인자이다. 실험 농장은 쿨링패드가 아닌 측벽 플레이트 입기구를 사용하여 공기가 들어와 배기구로 나가는 터널환기를 하고 있었고 계사 내 구역별로 유속을 측정하여 내부온도 균일성을 평가하기 위해 길이 방향 10m마다 6m간격으로 3군데씩 측정하였다. 3반복으로 실험을 진행하였으며, 실험한 당일 외부 기상을 분석한 결과 평균 2m/s 풍속으로 서풍에 가까운 남서풍이 우세하였다. 계사는 입구문이 서쪽, 배기구가 동쪽을 바라고보고 있는 구조물인데, 북쪽의 입기구 근처에서 유속이 평균 3.15m/s로 가장 유속이 컸으며 배기팬 앞쪽의 중심부가 최소 0.98m/s로 유속이 가장 작았다. 터널 배기시에 정체 지역으로 예상됐던 입구문 바로 앞과, 각 입기구 앞단 중에 이번 실험 결과로는 입구문 앞만 유속이 작은 것으로 보아 비교적 정체구간이 생기는 것으로 파악된다.



<계사 내부 유속 측정 위치>



<계사 내 구역에 따른 유속 컨투어>

- 배기팬 환기량 현장 모니터링

- 축산 시설에 설치되어 있는 환기팬의 실제 풍량은 입기 조건 등과 같은 시설 내부의 부하 조건에 따라서 실제 환기량이 달라질 수 있기 때문에 미압측정계 (TSI DP-CALC Micromanometer)를 이용하여 강제환기식 무창 육계사에 설치된 환기팬의 실제 풍량을 측정하였다. 풍량 측정을 위하여 십(十)자 모양으로 풍압공이 뚫려있는 풍량계 (Aero-flow meter)를 자체 제작하였으며, 팬에서 배출되는 공기가 온전히 풍량계를 지나 갈 수 있게 계사 내 터널 환기팬과 동일한 50인치 사이즈의 덕트를 설계하여 제작하였다.
- 풍량계에는 피토관이 존재하며 피토관의 개수와 위치는 ANSI/AMCA Standard 210 기준을 따른다. 베르누이 정리에 따라 피토관과 압력계를 통하여 해당 위치의 동압력을 전압력과 정압력의 차이를 통해 측정하고 유속을 산정하였다. 사용된 압력계의 제원은 다음 표와 같다. 모든 유체 유동을 해석하는데 있어서 기본 방정식인 베르누이 방정식을 따른다는 가정 하에 같은 대기압 상태에서 P는 서로 같으며 유선 상의 유동에서 ρgh 는 0이거나 무시할 수 있을 정도로 매우 작기 때문에 식 (8)은 (9)로 간주할 수 있다. 따라서 미압 측정기를 이용하여 환기시스템의 작동에 따라 1분간 동압을 측정하여 이에 대한 평균치를 계산하여 해당 조건에서의 풍속값을 산정하는 방식으로 실험을 수행하였다. 여름철 육계사에서 내부 온도와 적정 생육온도 차에 따라 터널팬 가동 수를 제어하며 사육하므로, 이번 실험에서 터널팬 가동 수를 바꾸어 가며 풍량과 정압 차를 측정하였으며 실험 결과를 바탕으로 환기팬 가동조건에 따른 실제 환기량 산정식을 도출하였다.



풍량계
(자체 제작)

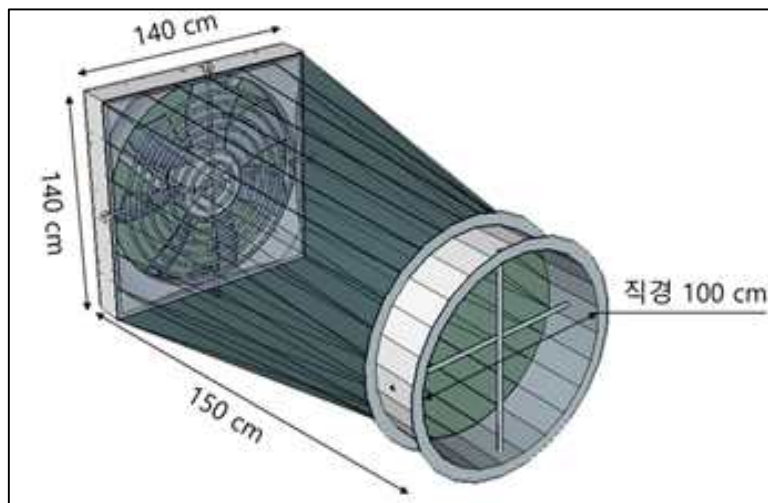


미압측정기
(TSI, Inc., USA)



휴대용 열선풍속계 (TESTO
Inc., USA)

<배기팬의 실제 환기량 측정을 위한 실험 기기>



<농장 배기팬의 실제 풍량을 측정하기 위한 덕트 설계>



(a) 계사 터널배기팬에 풍량계 설치하는 모습



(b) 팬 가동수에 따른 실험 모습



(c) 배기팬 내부 정압 측정

<농장 배기팬 환기량 측정 모습>

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = P + q + \rho gh = constant \quad (8)$$

$$q = \frac{\rho v^2}{2} \quad (9)$$

- 여기서, v : 유선 내 한 점에서의 유동 속도, g : 중력가속도, h : 기준면에 대한 그 점의 높이, p : 그 점에서의 압력 (정압력), ρ : 유체의 밀도, $q = \frac{\rho v^2}{2}$: 동압력 이다. 농장의 배기구는 끝벽에 위치한 14개의 터널배기팬 (Euroemme EM50; Munters, Sweden)이 설치되어 있으며, 유입구는 외부의 공기를 유입하기 위해 23.5m × 1.25m의 측벽 입구가 양쪽으로 열리는 구조로 설치되어 있다. 이론상 배기팬을 통한 강제환기를 실시할 경우 시설 내부 정압은 외부보다 낮게 유지되므로 외부 정압에서 시설 내부 정압 차를 측정하였다.
- 팬의 용량은 일반적으로 최대 유량을 기준으로 판단하지만, 현장에서 적용시 팬의 유량은 덕트나 댐퍼 등 주변 환경의 구조적 특성에 따른 차이가 발생한다. 팬의 가동시 이송공기의 동압력은 흡입구와 배출구에서 동일하게 형성된다. 반면 팬이 공급하는 에너지로 인하여 배출구의 정압력은 흡입구에 비해 높게 형성된다. 팬 주변의 구조적 변화로 인하여 유동의 저항이 증가하면 흡입구와 배출구의 정압력 차이는 증가하고 유량은 감소하게 된다. 다시 말해, 팬의 배출구와 흡입구 간 정압력 차이는 덕트 등 주변 구조물로 인한 유동의 저항을 극복하기 위한 압력에 해당한다. 팬 성능 곡선 (fan performance curve)는 팬의 유량과 정압력 간의 관계를 의미한다. 팬 성능 곡선은 팬의 형상, 소요 동력, 회전 속도가 일정할 경우 동일하게 유지되는 팬의 고유 특성이며, 팬의 설계와 설치 시 중요한 고려 사항이다. 팬의 제조사는 일반적으로 해당 기준을 따라 측정한 팬의 설계 성능

곡선을 제공한다. 그러나 현장에 팬을 설치 시 주변 구조물로 인한 압력 강하 혹은 팬의 노후화 등으로 인하여 팬 성능 곡선이 변화하는 것으로 알려져 있고, 최대 회전 속력에서 팬 성능 곡선은 2차 다항식으로 식 10처럼 근사화 할 수 있다.

$$\Delta P = c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 \quad (10)$$

- 여기서, ΔP 는 팬의 흡입구와 배출구의 정압력 차이 (Pa), Q 는 팬의 이송 공기 유량 (m³/s), c_0, c_1, c_2 는 팬 성능 곡선 계수이다. 설계 팬 성능 곡선은 일반적으로 기압 101.3 kPa, 온도 20°C, 상대 습도 50%, 밀도 1.20 kg m⁻³ 에 해당하는 표준 공기 조건에서의 성능을 나타낸다. 현장 적용시 정확한 성능의 추정을 위해서는 다음의 식 (37)을 통하여 공기온도 및 밀도를 통한 유량의 보정을 수행하여야 한다 (Liu & Liu, 2012).

$$\Delta P = \frac{\rho}{\rho_d} (c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2) \quad (11)$$

- 여기서, ρ 는 현장의 공기 밀도 (kg/m³), ρ_d 는 현장의 공기 밀도 (kg/m³)이다. 농장의 현장 팬 성능 곡선은 정압과 유속간의 관계식으로 직경 1.4m인 대상 터널배기팬의 면적을 고려하여 환산한 공식이며 식 (12)와 같다.

$$\Delta P = -67.553 + 61.877v - 7.3758v^2 \quad (12)$$

- 오리피스 공식은 입기구를 통과하는 유체의 흐름을 추정하기 위하여 일반적으로 사용되는 공식이다. 오리피스 공식은 비압축성 정상류 가정 하에 베르누이 공식을 통해 유도할 수 있다. (Karava et al., 2004). 유체 흐름 중 단면이 급격히 변화하는 스로틀(throttle)에 의하여 단변적의 변화가 발생할 경우, 베르누이 공식과 연속방정식에 의해 다음 식 (12), (13)이 성립한다.

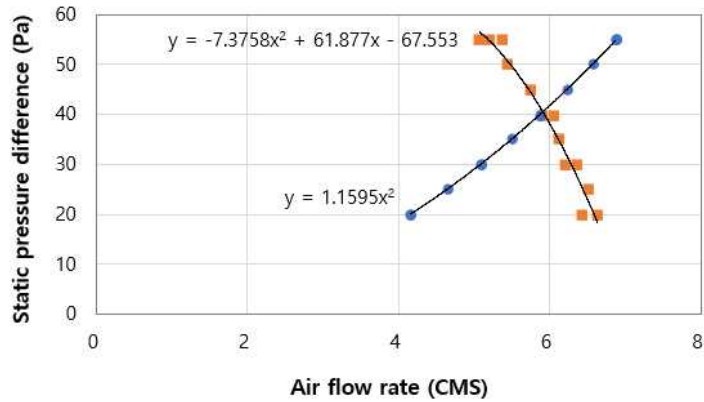
$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 \quad (12)$$

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (13)$$

- 여기서, ρ 는 유체의 밀도 (kg/m³), v_i 는 단면 i 의 유속 (m/s), p_i 는 단면 i 의 정압력 (Pa), A_i 는 단면 i 의 단면적 (m²), Q 는 유체의 유량 (m³/s)을 의미한다. 두 식을 연립하여 오리피스를 통과하는 유속과 유량을 계산하면 다음 식 (14)와 같다. 오리피스를 통과하는 유체의 단면의 수축과 마찰로 인하여 에너지 손실이 발생하며, 이를 보정하기 위한 유출계수를 적용하여 공식을 단순화하면 다음식 (15)와 같다.

$$Q = A_2 v_2 = A_2 \times \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho [1 - (A_2/A_1)^2]}} \quad (14)$$

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (15)$$



<해당 시설에서의 환기율과 정압차 관계>

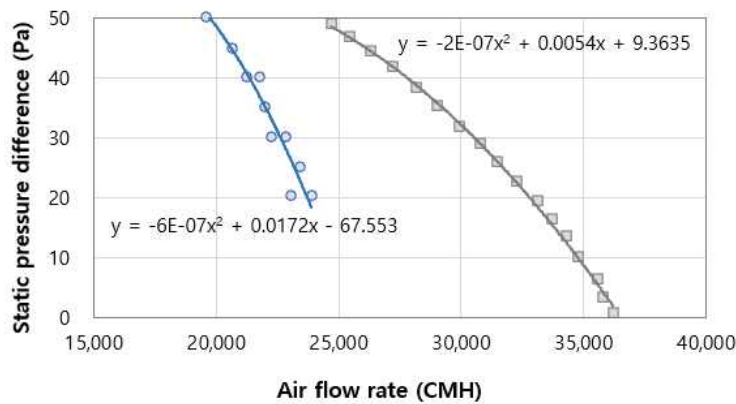
<팬 가동 개수에 따른 팬 1대의 유량 및 정압차>

팬가동 대수	터널배기팬 1대 유량 (m3/s)	시설 내외 정압차 (Pa)
1	6.1	15
2	6.4	20
3	6.6	20
4	6.5	25
5	6.3	30
6	6.2	30
7	6.1	35
8	6.0	40
9	5.9	40
10	5.7	45
11	5.4	50
12	5.4	55
13	5.2	55
14	5.1	55

- 현장 실험을 통해 측정된 대상 터널배기팬의 유량과 시설 내외 정압차를 통한 분석을 시행하여 현장 팬 성능곡선을 도출하였다. 측정 결과를 분석한 결과 시설 내외의 정압차가 10Pa 이하인 조건에서 높은 오차가 관측되었다. 낮은 정압 범위에서 외부 풍환경에 의해 정압력의 측정에 오차가 발생한 것으로 분석된다. 이에 따라 정압차 10Pa 이상의 측정치만을 사용하여 분석을 시행하였으며, 결과는 다음 그림과 같다. 대상 터널배기팬의 제조사에서 제공하는 설계 최대 유량에 비해 설계 최대 유량의 70% 수준인 것으로 나타났다. 이러한 결과의 한가지 이유로 팬 성능 곡선의 표준 시험 방법과 현장 측정 환경의 차이 때문으로 분석된다. 공인 팬 성능 시험 방법의 경우 대상 팬의 흡입구 및 송출구에 덕트를 설치한다. 따라서 팬의 흡입구와 송출구 간 정압력 차이가 일정하게 유지되며 덕트에서의 측정이 용이하다. 그러나 강제환기식 육계사의 경우 배기팬이 덕트가 아닌 개방된 벽체에서 설치된다. 배기팬에서 거리가 멀어짐에 따라 시설 내부의 유속이 감소하며 정압력이 상승하게 된다. 다른 대상 팬의 성능 감소 원인으로서는 배기팬을 사용한 년수가 쌓일수록 배기팬을 통한 침기를 방지하기 위한 셔터의 설치, 팬 주변 분진의 축적, 장기간 사용에 따른 벨트 등 부품의 노후화 등으로 추정할 수 있다. 따라서 정확한 강제환기식 시설의 환기량 추정을 위해서는 현장 설치 시 변화한 팬 성능을 실측을 통해 평가하여야

할 것으로 판단된다. 대상 터널배기팬의 최소 유량이 측정된 실험 조건은 설치된 14대의 터널배기팬을 모두 가동하고 입기 플레이트를 일부 개방 ($\theta = 14^\circ$)한 조건이다.

- 강제환기식 육계사에서 터널 환기를 시행할 경우 일반적으로 시설 내외부의 평균 정압차는 2.5 - 30 Pa의 범위를 나타낸다 (Casey et al., 2008). 해당 조건에서 실측 유량은 설계 팬 성능 곡선을 통해 예측한 유량보다 24.1% - 24.6% 감소하는 것으로 분석된다. 정압차에 따른 유량 감소율은 다음 표와 같다. 해당 실험의 정압차는 Park G.Y. et al.(2018) 연구에서 40Pa보다 클 경우 과도한 정압차를 형성하여 배기팬의 고장이 우려된다 하였다. 이번 연구에서 큰 정압차가 측정된 이유는 입기구 면적 차이로 파악된다. Park G.Y. et al 논문은 입기 슬롯을 모두 최대 개방한 조건이지만 이번 연구에서는 입기구를 개방율이 작아 비교적 입기구 면적이 작음에서 기인한 것으로 보인다.
- 팬 성능데이터대로 연산모델상에 입력했을 때 고온스트레스가 과소 평가될수 있으므로 배기팬의 노후화에 따른 성능감소를 고려하여 모델에 적용해야 할 것으로 판단된다.



<현장 팬 성능 곡선 측정 결과>

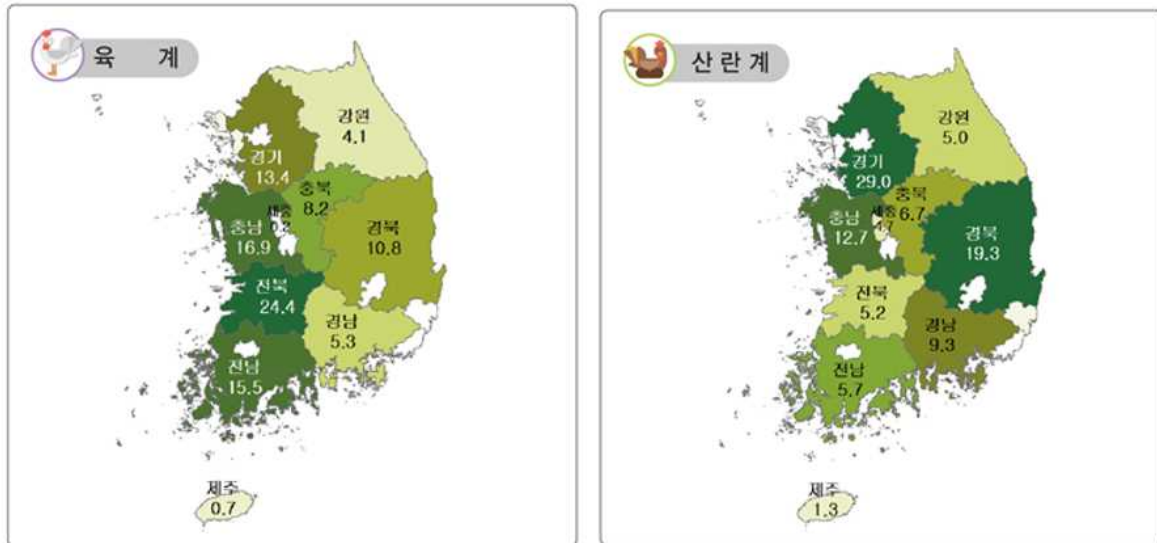
<정압차에 따른 설계 팬 곡선과 현장 팬 성능곡선의 유량 감소율>

정압차 (Pa)	터널배기팬 유량 (CMH)		감소율 (%)
	설계	현장	
20	32934	23061	30.0
30	30428	22048	27.5
40	27861	20880	25.1
50	24713	19451	21.3

2) 연산 시 고려할 중요 변수 인자 선정

- 지역 (외부기상)

- 우리나라에서 육계산업의 업계 1, 2위가 있는 전북은 전국 닭고기 생산량의 40%를 차지한다. 전북을 대표로 하여 기상대 및 관측소가 설치되어 있는 군산, 부안, 임실, 장수, 전주 등에 대하여 시 및 읍단위로 기상데이터를 입력하였다. 이후에는 전북지역에 대한 최고 810m 공간분해능의 고해상도 기상예측장을 이용하여 가축 고온 스트레스 연산 모델에 입력할 것이다.



<지리정보시스템(GIS)로 본 사육마릿수 현황>

- 가축 (연령, 사육밀도)

- 육계를 기준으로 했을 때 타 가축에 비해 빠른 증체로 출하 일령이 단축되어 약 30일령에 1.6kg 중량이 일반적인 농가의 상황이다. 그러므로 한달(약 30일)까지 고려하여 일령별 닭의 체중을 통한 주변온도가 20°C 조건 일 때 에너지 발생량을 현열 및 잠열로 나누어서 고려하였다. 일반적으로 가금류의 가축사육시설 면적은 무게에 따라서 적정 사육밀도 기준을 제시하고 있다. 육계사는 단위면적당 33 ~ 39kg으로 규정되어 있다. 자세하게는 개방계사 중 자연환기 방식은 33kg/m², 강제환기 방식은 36kg/m²이며 무창계사는 39kg/m² 사육밀도 기준을 가진다.

- 구조 (축사형태, 단열재)

- 2016년도에 농협중앙회에서 발간한 축사 표준설계도를 기본으로 하여 크기 및 규모를 여러 단계로 나누어 선택할 수 있도록 한다. 단열재는 다양한 자재 (콘크리트, 스티로폼 EPS, 네오폴 EPS, 아이소핑크 XPS, 경질우레탄 PIR 등)으로 나누어 자재와 두께를 선택함으로써 벽체별로 열관류율을 입력할 수 있다.

- 환기 (환기법, 환기량)

- 육계사에서는 자연환기, 크로스환기, 터널환기 등의 환기방법을 사용한다. 기계적 장치가 도입되기 전에는 주로 윈치커튼에 의해서 자연적 공기의 대류로 인한 자연환기가 주로 이루어졌다. 강제환기 중 터널식 환기 방식은 높은 풍속의 바람이 계사 내부의 육계에 직접 전달되어 효과적으로 하절기 고온스트레스를 해소할 수 있는 방법이다. 이에 폭염시 가축 고온스트레스 분석을 위한 환기법으로 터널식만을 고정하여 사용하였다.
- 또한 환기량은 육계사의 환기제어시스템이 국내 대부분의 농장에서 on-off 제어 시스템을 적용하고 있다. 설정된 주기에 따라 일령별로 환기팬이 작동하는 시간이 달라지며 일반적으로 육계의 사육기간이 길어질수록 체열 발산량이 증가하기 때문에 환기팬의 작동 시간이 길어진다. on-off 주기에 따른 육계사 내부의 온도 분포 변화를 실험한 결과 5분을 주기로 할 경우 내부의 온도편차는 감소한다는 연구가 있다. 따라서 환기량은 팬의 가동 개수와 가동 주기를 통해 계산하여 입력하였다.

- 공조 (쿨링패드 유무)

- 육계사 표준설계도(MAFRA, 2016)에서는 하절기 육계사 환기에 터널식 환기방식을 사용하며 선택적으로 쿨링패드를 설치할 수 있도록 하였다. 쿨링패드는 특수섬유로 벌집모양으로 공기가 통과하게 만드는 구조로 물을 관류시키거나 패드전면에 물을 분사하여 패드가 젖고 공기가 그 사이를 통과하며 열교환을 이용해 입기온도를 낮추는 방식이다. 설치 효과는 패드의 두께, 풍속, 온도와 습도 등 여러 요인에 의해 달라지며, 우리나라의 여름철과 같이 고온다습한 기후의 경우 3~10°C 정도의 온도강하효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이에 쿨링패드 사용 여부에 따른 케이스를 여름철 육계사 공조에 관한 변수 인자로 선정하였다.

3) 가축 고온스트레스 분석 위한 동적수치해석 개별 모듈 개발

- 동적 수치해석 (Building Energy Simulation) 모듈 개발

- 건물의 설계 단계에 있어서 에너지 비용 예측 및 효율적인 에너지 사용을 위해서는 냉난방 부하를 산정하는 것이 중요하다. 시간에 따른 환경조건의 변화를 고려하며 건물의 에너지 부하를 산정하는 방법을 동적부하 산정법이라고 한다. 건축물의 열 및 에너지 흐름과 적정환경 조절을 위한 에너지 부하를 수치적으로 계산하고 예측하는 기술은 건물에너지 시뮬레이션(Building Energy Simulation; BES)이 주로 이용되고 있으며 일반 건축분야에서는 높은 정확도와 활용성으로 건축계획 초기단계부터 각종 설계 대안에 대한 종합적 성능을 평가하는데 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 TRNSYS (Ver. 18, SEL, USA) 상용프로그램이 이용되었다. TRNSYS는 모듈 구조를 갖는 비정상 시스템 해석 프로그램으로 메인 프로그램과 컴포넌트라고 불리는 많은 서브루틴으로 구성되어 시뮬레이션 모델의 적용성 및 호환성에 용이하다는 장점을 갖는다. 각 컴포넌트로 불리는 모듈들은 각자의 매개변수를 통하여 대상 건물의 물리적 정보를 입력하며, 각각의 모듈은 서로 연결되어 입력값과 출력값을 교환하며 전체적인 시스템을 구성한다. 특히 건물을 구성하는 모듈인 Type56 (Multi-zone)은 ASHRAE의 전달함수법 (transfer function method)을 토대로 각 벽체의 안쪽과 바깥쪽에서 발생하는 모든 복사열교환을 고려한다. 이와 관련된 복사 및 대류현상, 축열체의 축열 및 방열 등을 고려한 열평형 방정식을 풀이하여 에너지교환을 동적으로 해석한다. 이 프로그램은 실시간 기상 데이터와 같은 시간에 따른 입력자료를 활용하여 연산을 수행하며 시뮬레이션 결과값 또한 실시간으로 도시 및 저장되기 때문에 특정기간을 대상으로 누적 결과 값을 산출할 수 있을 뿐만 아니라 단위시간당 최대 혹은 최소값을 산출할 수 있다. TRNSYS에서 에너지부하 산정 대상 건물은 다수의 구역(Zone)으로 구성된다. Zone이란 열평형 방정식을 풀이하는 하나의 도메인으로 공간을 이루는 벽체의 열용량, 밀도, 열전도도 등의 물성치를 통해 건물 표면으로부터의 전도, 일사량, 환기 및 침기, 내부 발열량 등을 고려하여 에너지교환을 해석한다.

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{ishcci} + \dot{Q}_{solair} + \dot{Q}_{g,c} + \dot{Q}_{cplg} \quad (16)$$

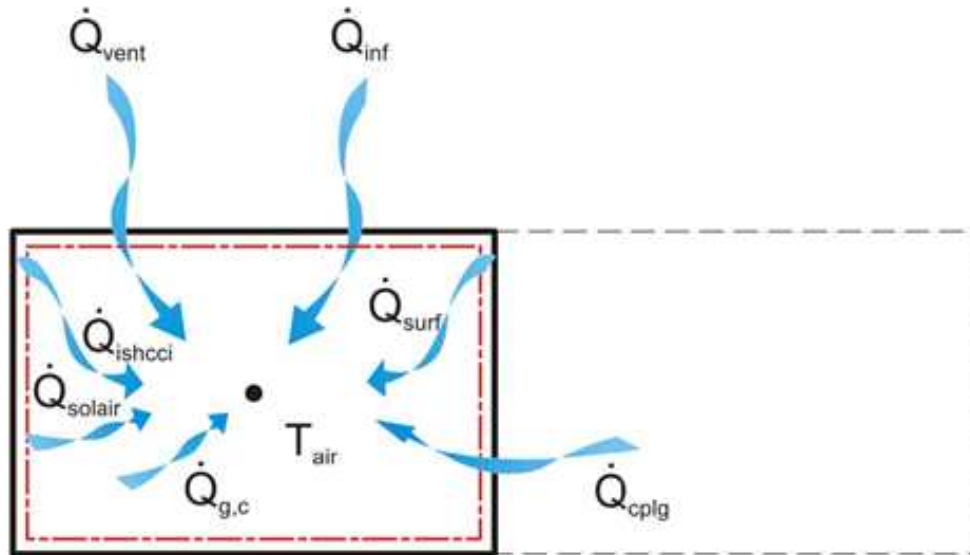
$$\dot{Q}_{\infty, i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (T_{outside, i} - T_{air}) \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{surf, i} = U_{w,i} \cdot A_{w,i} \cdot (T_{wall, i} - T_r) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{vent, i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (T_{ventilation, i} - T_{air}) \quad (19)$$

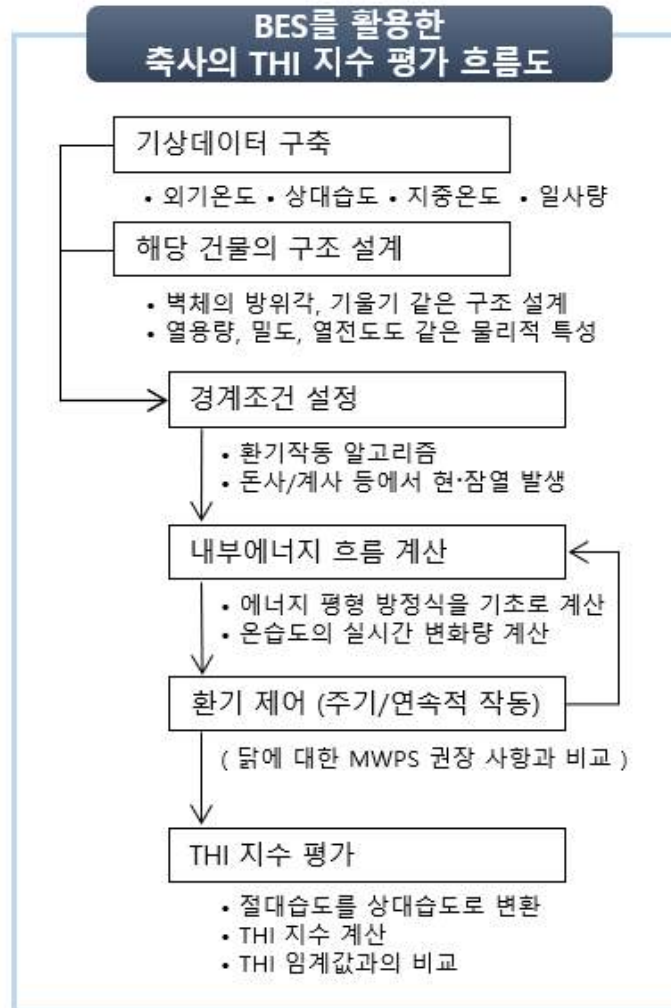
$$\dot{Q}_{cplg, i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (T_{zone, i} - T_{air}) \quad (20)$$

- 여기서, $\dot{Q}_{surf, i}$ is the convective gain from surfaces (kJ), $\dot{Q}_{\infty, i}$ is the infiltration gains (air flow from outside only, kJ), $\dot{Q}_{vent, i}$ is the ventilation gains (air flow from a user-defined source, like an HVAC system, kJ), $\dot{Q}_{g, c, i}$ is the internal convective gains by people, equipment, illumination, radiators, etc. (kJ), $\dot{Q}_{cplg, i}$ is the gains due to (convective) air flow from airnode I or boundary condition (kJ), $\dot{Q}_{solair, i}$ is the fraction of solar radiation entering an airnode through external windows which is immediately transferred as a convective gain to the internal air (kJ), $\dot{Q}_{ISHCCI, i}$ is the absorbed solar radiation on all internal shading devices of zone and directly transferred as a convective gain to the internal air (kJ), V is building volume (m³), ρ is density of air (kg m⁻³), c_p is specific heat of air (kJ kg⁻¹ °C⁻¹), $T_{outside, i}$ is outside air temperature, T_{air} is air temperature, $U_{w, i}$ is building loss coefficient (kJ/hrm²C), $A_{w, i}$ is building surface area (m²), $T_{wall, i}$ is wall temperature (°C), T_r is temperature, $T_{ventilation, i}$ is ventilation temperature, and $T_{zone, i}$ is zone temperature

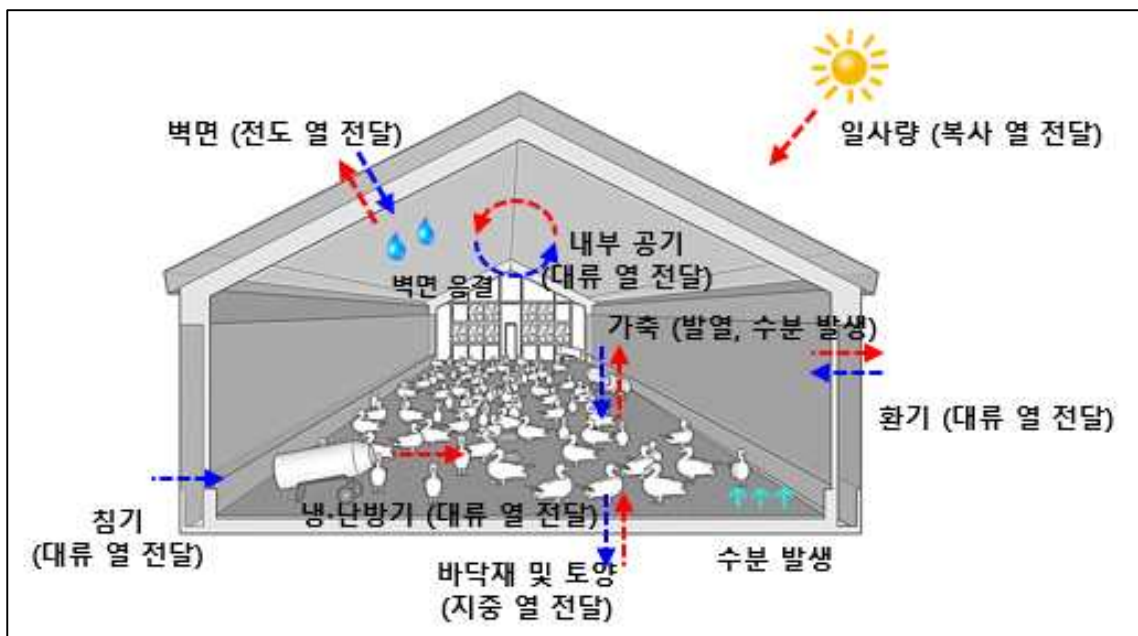


<TRNSYS를 이용한 건물 냉난방 부하 산정 요소 모식도>

- 대상 계사의 고온스트레스 지수를 계산하기 위해 동적해석을 이용하여 내부환경을 도출하였다. 에너지 평형 방정식을 기초로 매시간 대상시설 내 열에너지 변화를 계산하므로 고온스트레스 지수를 계산하는데 중요 변수 인자인 시간에 따라 변화하는 외부기상, 가축의 사육 정보, 축사형태 및 단열재와 같은 축사 구조 및 피복, 계절에 따른 환기율, 쿨링패드를 통과하는 공기의 열교환 등의 인자들을 동적 수치해석 방법을 통해 내부환경을 계산하였다. 계산된 내부에너지를 통해 열지수를 계산하고 기존의 연구자들이 밝힌 임계값과 비교하여 가축의 고온스트레스를 예경보하는 모델을 개발하였다.



<모듈 연동을 통한 동적 수치해석 모델 설계 흐름도>



<축사 내외부 에너지 교환 모듈>

다. 기상예측 자료를 활용한 작물 생육 전망 정보 생산 및 의사결정 지원 도구 개발

○ 다중규모 기상예측 자료의 활용체계 구축

1) 다중 공간 해상도 입력자료 처리 시스템 개발

- 관측 기상자료와 함께 단기, 중기, 및 장기 예측자료를 결합하여 작물 모형을 구동하기 위한 기상자료 처리 시스템을 개발하였다. 연내 작물 생육 예측을 위해서는 작물 재배기간동안의 기상자료가 요구된다. 미래 기간에 대한 기상자료 생산을 위해 수치기상 모형 등을 통한 기상 예보자료가 활용된다. 이 때, 기상 예보 자료의 신뢰도를 높이기 위해 기상의 단기 예측 모형, 중기 예측 모형 및 장기 예측 모형의 결과를 결합하여 활용할 수 있다.
- 서로 다른 기상 예측 모형의 출력 자료를 처리하여 작물 모형에 입력하기 위한 다중 공간 해상도 입력자료 처리 모듈을 구현하였다. 기상 예측 모형의 결과자료는 격자로 제공되므로 이를 처리할 수 있는 Cordex Data Support Library (CDSL)을 활용하였다. CDSL은 netCDF 등의 격자형 기상자료를 처리할 수 있다. 이를 통해 단기, 중기, 장기 예측 자료로부터 같은 지점에 해당하는 격자의 특정 기간동안의 기상 자료를 추출할 수 있도록 시스템을 구성하였다.
- CDSL을 기반으로 격자 자료의 일별 자료를 추출하는 기능을 가진 클래스 wx_manager가 구현되었다. 추출하고자 하는 시작 날짜인 start_doy, 끝 날짜인 end_doy 까지의 자료를 처리한다. wx_manager는 서로 다른 격자 자료에 대응되어 설정될 수 있다. 전체 격자 뿐 아니라 특정 지점에 해당하는 격자의 자료만을 추출 하는 기능도 탑재하였다.

2) 단기 및 중장기기후 예측 자료를 사용한 작물 생육 예측 지원 시스템 개발

- 격자 자료로부터 추출된 기상자료를 작물 모형의 일별 기상 입력자료 형태로 생성하는 모듈을 개발하였다. 단기, 중기, 및 장기 기상 예측 자료를 기간별로 연계하여 작물 모형의 입력자료 형태로 전환할 수 있도록 구현하였다. 특히 DSSAT의 기상입력자료인 WTH파일을 지원할 수 있는 형태로 일별 최고, 최저 온도, 강수량, 및 일사량 자료를 테이블 형태로 저장한다. 예측시점을 기준으로 관측기상자료와 예측기상자료를 연계하도록 구성하였다.
- 복잡한 구조의 DSSAT 일반 토양 입력 자료로부터 DSSAT SIMPLE 모형의 토양 입력자료를 제공할 수 있는 모듈을 개발하였다. 국내외 토양전문기관에서 제공하는 격자형 토양 정보로부터 기존의 일반적인 DSSAT 토양입력자료 생성을 위한 모듈들이 개발되어있다 (Yoo and Kim, 2017; Kim et al., 2018b). SIMPLE 모형의 토양 입력자료들은 기존의 DSSAT 토양입력 자료로부터 계산이 가능하다. 따라서 기존 DSSAT 토양입력자료로부터 SIMPLE 모형의 토양입력자료 형태로 변환하는 모듈을 개발하고자 하였다.
- 웹 인터페이스를 통해 기상 자료를 수집할 수 있는 인터페이스를 개발하고자 하였다. 웹 데이터베이스가 운영되는 서버와 독립적으로 운영될 수 있도록 기상자료 처리 모듈은 Docker container 형태로 구현하였다. 웹 인터페이스는 파이썬의 웹 애플리케이션 프레임워크인

Flask를 활용하고자 하였다.

- 격자자료로부터 추출된 지점별 자료를 연결하여 작물 모형 입력 자료인 테이블 형태로 정리하는 모듈이 구현되었다 (Fig. 7B). 해당 모듈은 wx_manager 클래스의 함수로 구현되었다. 추후 작물 모형 입력자료 형태에 따라 특화된 출력 모듈이 구현될 수 있다.

<pre style="font-family: monospace; font-size: 0.9em;"> int i; int nbox; int ngrid; cout << m_start_doy << endl; cout << m_end_doy << endl; if (m_wx_manager == NULL) { cout << "wx manager has not been initialize return; } nbox = m_wx_manager->getNBox(); if (nbox != 0) { for (i = 0; i < nbox; i++) { input_node node; node.id = i; node.boxid = m_wx_manager->getBoxID(i); m_input_db.push_back(node); } } else { ngrid = m_wx_manager->getNGrid(); for (i = 0; i < ngrid; i++) { input_node node; node.id = i; node.boxid = i; m_input_db.push_back(node); } } </pre>	A	<pre style="font-family: monospace; font-size: 0.9em;"> int i; string line; stringstream buf; list<input_node>::iterator iter; cout << "input db size " << m_input_db.size() << endl; iter = m_input_db.begin(); for (i = 0; iter != m_input_db.end(); iter++, i++) { iter->stn = 49; buf << iter->stn << m_delim; buf << m_yrdoy / 1000 << m_delim << m_yrdoy % 1000 << m_delim; buf << fixed << setprecision(1) << m_wx_manager->getWx(i)->srad << m_delim << m_wx_manager->getWx(i)->tmin << m_delim << m_wx_manager->getWx(i)->tmax << m_delim << m_wx_manager->getWx(i)->vp << m_delim // vp value << m_wx_manager->getWx(i)->windsp << m_delim << m_wx_manager->getWx(i)->rain << "\n"; line = buf.str(); buf.str(""); buf.clear(); iter->wxbuffer.push_back(line); } cout << line << endl; </pre>	B
--	---	---	---

<다중 기상 자료 처리 모듈 wx_manager 및 작물 모형 입력자료 출력 모듈 예시>

- R script를 기반으로 DSSAT 토양입력자료로부터 SIMPLE 모형의 토양입력자료를 생성하는 모듈을 개발하였다. SIMPLE 모형에는 토양 수리 특성을 반영하기 위한 rzd (root zone depth), wuc (water uptake coefficient), ddc (drainage coefficient)와 rcn (runoff curve number), 및 awc (available water capacity) 변수가 요구된다. rzd 및 wuc는 SIMPLE 모형에서 제안하는 기본값을 사용하였다 (Woli et al., 2012). ddc 와 rcn은 DSSAT 토양자료에서 drainage를 나타내는 SLDR과 runoff를 나타내는 SLRO의 값을 활용하였다. awc는 토양 층별 깊이, SLLL (lower limit), SDUL (drained upper limit)을 활용하여 계산하였다 (Kim et al., 2018b).

```

DSSATsoil <- "SOIL.SOL"
SOLNAME <- "DEFAULTSOL"
s<-readLines(DSSATsoil)
as<-which(grepl(SOLNAME,s))

#rzd, wuc
rzd <- 400
wuc <- 0.096

#ddc, rcn
header1<-s[as+3]
data1<-s[as+4]
sldr_pos<-gregexpr("SLDR",header1)[[1]][1]
slro_pos<-gregexpr("SLRO",header1)[[1]][1]
ddc<-as.numeric(substr(data1,sldr_pos-2,sldr_pos+3))
rcn<-as.numeric(substr(data1,slro_pos-2,slro_pos+3))

#slb, ll, dul for awc
header2<-s[as+5]
data2<-s[as+6:11]
slb_pos<-gregexpr("SLB",header2)[[1]][1]
slll_pos<-gregexpr("SLLL",header2)[[1]][1]
sdul_pos<-gregexpr("SDUL",header2)[[1]][1]
slb<-as.numeric(substr(data2,slb_pos-2,slb_pos+2))
slll<-as.numeric(substr(data2,slll_pos-2,slll_pos+3))
sdul<-as.numeric(substr(data2,sdul_pos-2,sdul_pos+3))

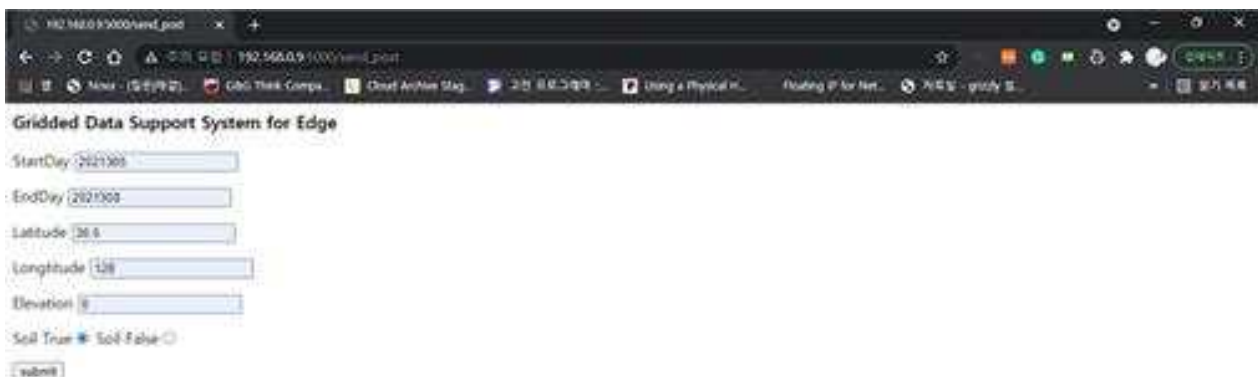
#calc awc
sdep<-c(slb[1],diff(slb)) #soil depth
awc<-sum((sdul-slll)*sdep*10)/(slb[length(slb)]*10)
awc<-round(awc,3)

#write output
data<-cbind(awc,ddc,rcn,rzd,wuc)
outname<-"SIMPLESOIL.SOL"
write.table(data,outname,sep=',',quote=F,row.names=F)

```

<DSSAT 토양파일로부터 SIMPLE 토양파일을 생성하는 코드>

- 기상 자료를 웹 인터페이스로부터 수집하는 모듈이 구축되었다. Flask 기반으로 구성되었으며, 내부 모듈은 Docker container로 구성되었다. 해당 인터페이스는 http 기반 URL로 인터넷망을 통해 데이터를 전송받을 수 있다. 시작날짜 (StartDoy), 종료날짜 (EndDoy), 위경도 (Latitude, Longitude) 및 고도 (Elevation)을 설정할 수 있다.



<Flask 기반 기상 자료 수집 웹 인터페이스>

라. 농업가뭄 확산 및 농업용수 수요·공급 예측 모형 구축

○ 예측자료 기반 농경지 중심의 농업가뭄 확산 예측 모형 개발

1) 농업가뭄 확산 예측을 위한 지수 선정

① modified-SPEI : 국내 농업용수 관리 기준인 FAO Penman-Monteith 활용

- 표준강수증발산지수(Standard Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)는 강수량 자료와 증발산량 자료를 적용한 가뭄지수로 작물의 증발산량을 고려하기 때문에 가뭄이 작물생육에 미치는 영향을 평가하기에 적합할 수 있다.
- SPEI(Vicente-Serrano et al., 2010)는 강수량과 증발산량의 차가 유출 및 수분 저장(지하수 및 토양수분)의 합과 같아지는 물수지를 개념적으로 고려하고 있으며, 기준증발산량은 Thornthwaite 방법(Thornthwaite, 1948)을 사용한다.

$$ET_0 = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m$$

(여기서, ET_0 는 증발산량(mm), T 는 월평균기온(°C), I 는 열지수(Heat Index), K 는 위도(Latitude)와 월(Month)의 함수로 산정하는 계수, m 은 월단위)

- 각각 다른 시간척도(Time Scales)에 따라 다음 식과 같이 강수량과 증발산량의 차이 D_i 의 누적 값의 시계열 자료로부터 적정확률분포로 선정된 Log-logistic 분포를 이용하여 매개변수를 추정한 후, 표준정규분포로 전환하여 가뭄지수를 산정하였다(Vicente-Serrano et al., 2010).

$$D_i = P_i - ET_{0i}$$

- 기준증발산량은 작물이 생육하는 과정에서 사용하는 물의 양을 계량한 지표로서, 농촌 용수 관리에 필수적인 기초자료이다. 기준증발산량은 많은 연구자에 의하여 산정공식이나 계측 방법이 제안되었으며, 대부분의 연구에서 산정공식을 이용한 모의를 이용하고 있다.

- 기준증발산량 산정공식은 다음과 같이 4가지가 널리 이용되고 있으며, 이 중 FAO Penman-Monteith 공식(이하 FAO-PM)은 국제식량농업기구에서 추천하는 모형으로 기존 Penman 공식에서 공기동역학 항에 작물형에 따른 기공저항을 고려하도록 개선한 모형이다(Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

(여기서, ET_0 는 기준증발산량(mm/day), Δ 는 증기압 곡선의 기울기(kPa/°C), R_n 은 지구표면에서 축적되는 순일사량(MJ/m²/day), G 는 토양 열유속밀도(MJ/m²/day), γ 는 건습계 상수(kPa/°C), T 는 일 평균 기온(°C), u_2 는 2m 높이에서의 풍속(m/s), e_s 는 포화증기압(kPa), e_a 는 실제증기압(kPa))

<기준증발산량 산정법 비교>

산정방법		FAO Blaney-Criddle	FAO Modified-Penman	FAO Penman-Monteith	Thorthwaite
필요 기상 인자	기온	○	○	○	○
	습도	×	○	○	×
	풍속	×	○	○	×
	일조시간	×	○	○	×
시간단위		월별 또는 순별	일별	일별	월별
작물계수 유무		논벼	논벼 및 밭작물	논벼 및 밭작물	X

- 따라서, 본 연구에서는 강수와 증발산량을 동시에 고려하는 SPEI 지수를 고려하되 FAO Penman-Monteith 공식으로 산정한 증발산량을 적용한 modified-SPEI를 활용하여 농업가뭄 특성을 분석한다.
- SPEI는 가뭄 심도를 정의하기 위하여 SPI와 동일한 가뭄분류체계를 사용한다. 가뭄분류의 기준으로 9단계의 가뭄수준으로 등급을 구분하였으며 값이 높을수록 습윤 상태, 값이 낮을수록 가뭄 상태가 심한 것을 의미한다.

<SPEI 가뭄분류체계>

SPEI(SPI) value	Class	Color
More than 2.00	Extremely wet (humid)	
1.50 to 1.99	Severely wet	
1.00 to 1.49	Moderately wet	
0.50 to 0.99	Slightly wet	
-0.49 to 0.49	Near normal	
-0.99 to -0.50	Mild dry	
-1.49 to -1.00	Moderately dry	
-1.99 to -1.50	Severely dry	
Less than -2.00	Extremely dry (drought)	

② RDI(Reservoir Drought Index, 저수지 가뭄지수) : 주요 농업용수 공급원인 농업용 저수지 저수율 활용

<저수율 자료를 활용한 RDI 기반 가뭄예경보 기준>

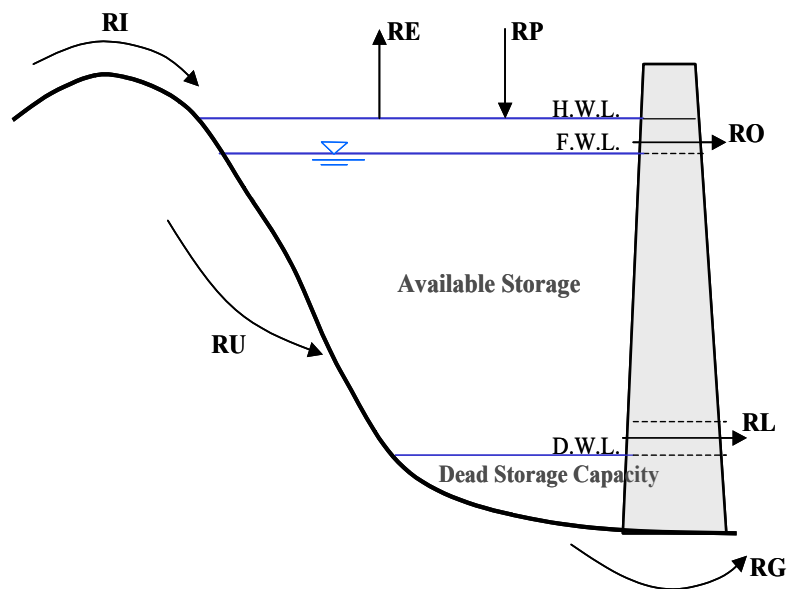
	가뭄예경보 기준 [논]	비고
관심	영농기(4월~10월) 평년 저수율의 70% 이하인 경우	
주의	영농기(4월~10월) 평년 저수율의 60% 이하, 비영농기 저수율이 다 가오는 영농기 모내기 용수공급에 물 부족이 예상되는 경우	
경계	영농기(4월~10월) 평년 저수율 50% 이하인 경우 ※ 위와 같은 상황에서 가뭄피해가 발생하였거나 예상되는 경우	
심각	영농기(4월~10월) 평년 저수율 40% 이하인 경우 ※ 위와 같은 상황에서 대규모 가뭄피해가 발생하였거나 예상 되는 경우 관계부처 협의를 통해 결정	

- 저수율 모의를 위한 저수지 물수지 구성

- 저수지의 물수지는 다음 그림과 같은 요소들로 표시하고, 연속방정식으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$RS(t) = RS(t-1) + RI(t) + RP(t) + RU(t) - (RL(t) + RO(t) + RE(t) + RG(t))$$

(여기서, $RS(t)$: t일의 저수량, $RS(t-1)$: (t-1)일의 저수량, $RI(t)$: t일의 저수지 유입량, $RP(t)$: t일의 저수지 수면강수량, $RU(t)$: t일의 지하수 유입량, $RL(t)$: t일의 방류량, $RO(t)$: t일의 물넘이 월류량, $RE(t)$: t일의 저수지수면증발량, $RG(t)$: t일의 지중침투량)



<저수지 물수지 구성>

- 본 연구에서는 정량화하기 곤란한 지하수 유입량($RU(t)$)과 지중침투량($RG(t)$) 등은 고려하지 않았다.
- 가용저수량은 현재 저수량과 사수량의 차로 정의하고 저수지 물수지식을 다시 정리하면 다음 식과 같다.
- $AS(t) = AS(t-1) + RI(t) + RP(t) - (RL(t) + RO(t) + RE(t))$ (3-16)
- 여기서, $AS(t)$: t일의 가용저수량(m^3), $AS(t-1)$: (t-1)일의 가용저수량(m^3)

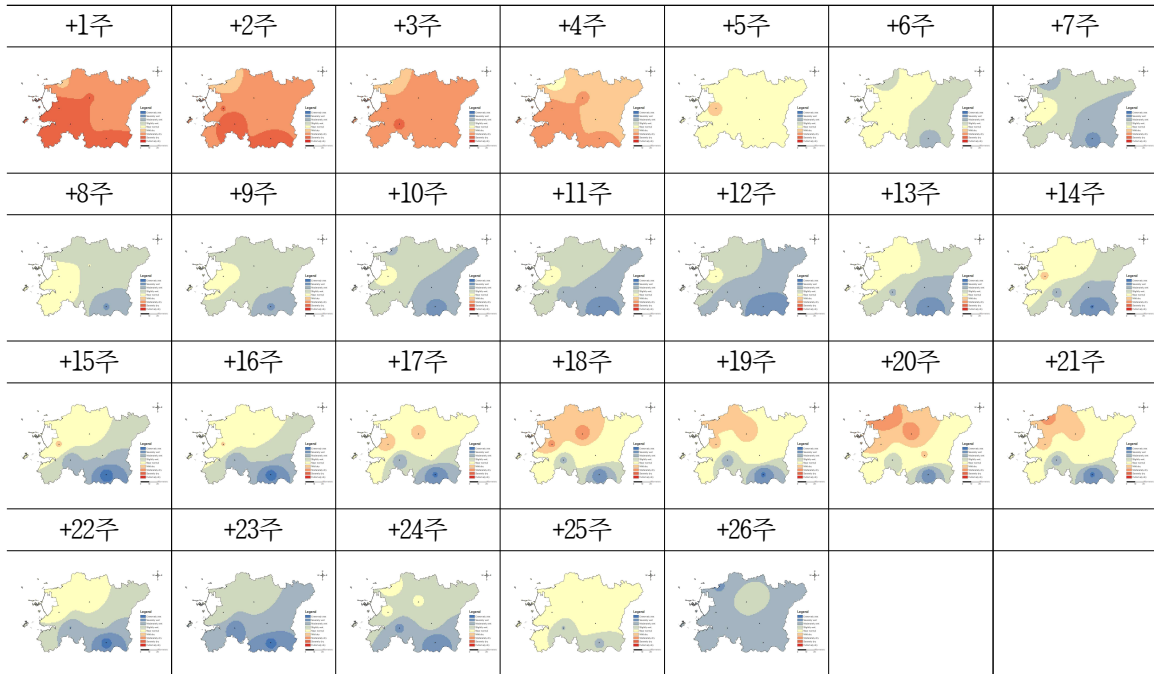
2) 중장기기후예측정보를 활용한 농업가뭄 확산 예측

① modified-SPEI 기반 농업가뭄 확산 예측(중장기기후 예측정보 활용)

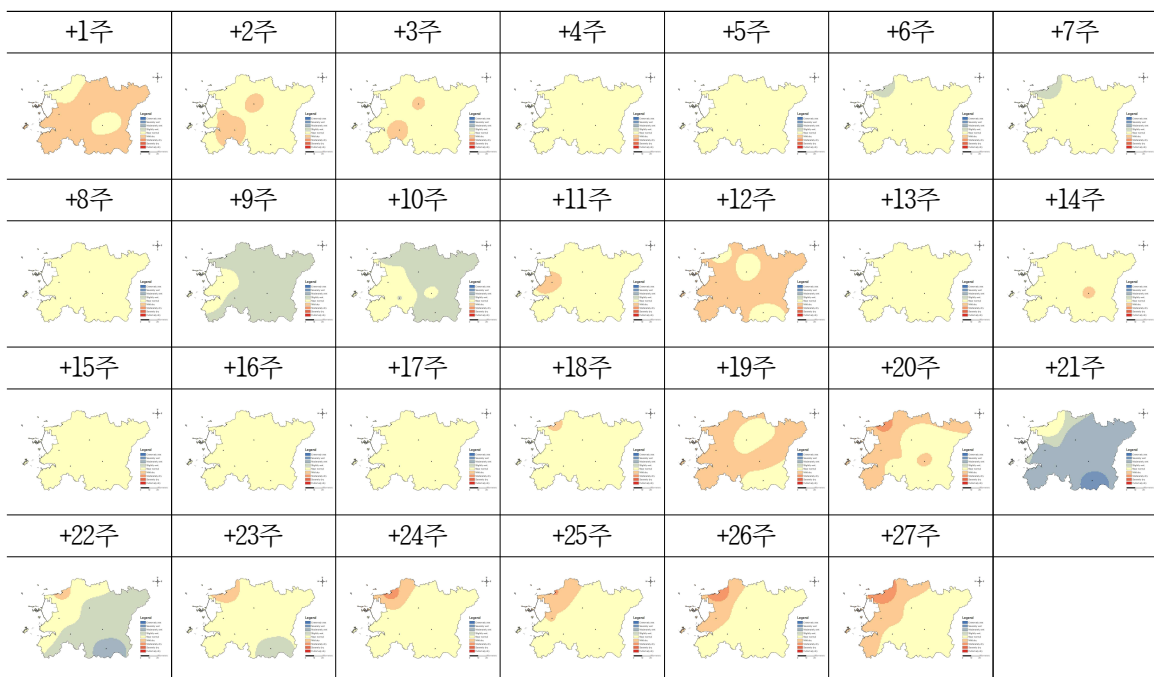
- 2020년부터 관계부처(행정안전부, 농림축산식품부, 환경부, 기상청, 국립재난안전연구원, 한강홍수통제소, 한국농어촌공사, 한국수자원공사) 합동으로 ‘국가 가뭄정보 통계’를 개발하여 가뭄에 대한 종합적인 정보를 공개하고 있다. 2018년에 발생한 가뭄현황과 그에 따른 피해, 대응, 복구 등 가뭄관리에 대한 주요 통계기록이 수록되어 있으며, 가뭄의 직·간접적인 피해규모 정량화 등에 활용될 기초자료로서 신뢰성 있는 자료이므로 이를 활용할 필요가 있다.

- 전북지역 6개 기상관측소별(군산, 남원, 부안, 임실, 전주, 정읍) 2018년도 중장기기후 예측정보를 활용한 modified-SPEI 산정하였다.
- 가까이 있는 실측 값(Point)에 더 큰 가중 값을 주어 보간하는 방법인 역거리가중법 (Inverse Distance Weighted, IDW)을 사용하여 공간해상도 1km의 격자지도를 생성했다.

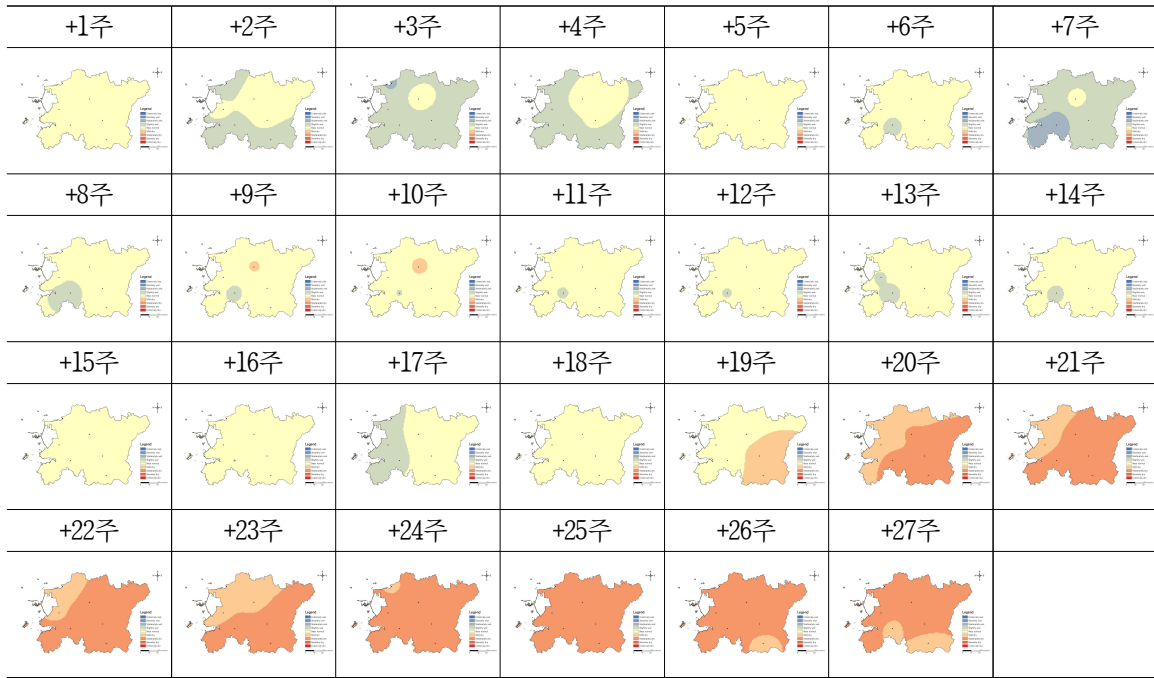
<2018년 1월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>



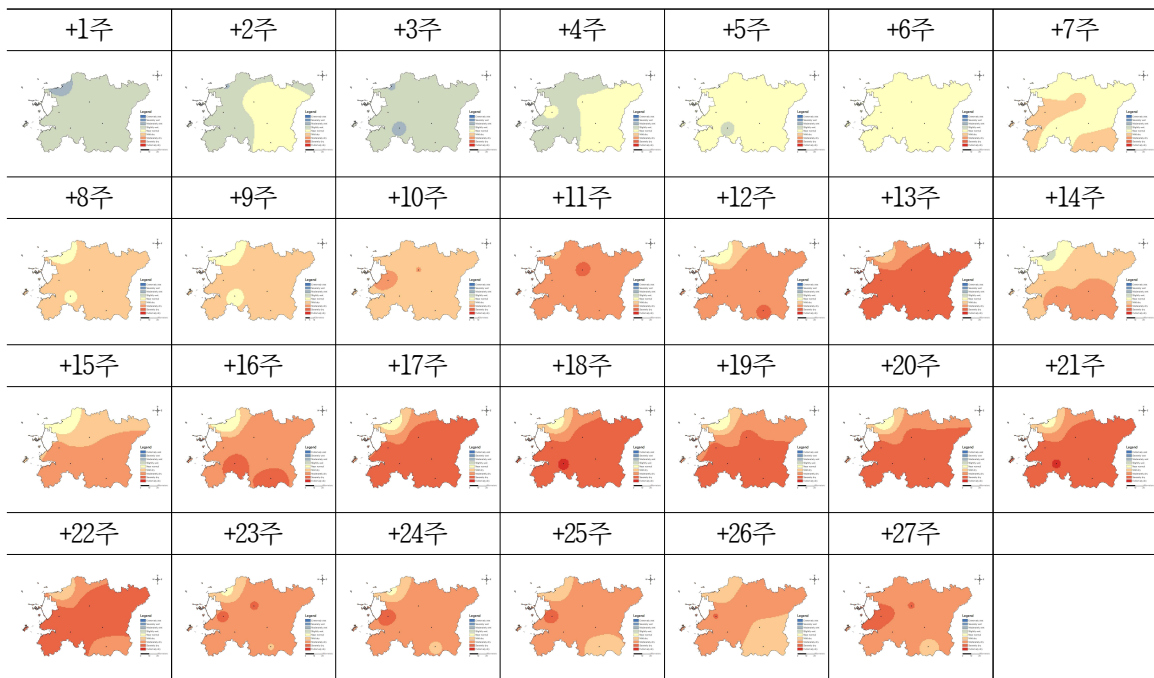
<2018년 2월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>



<2018년 3월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>



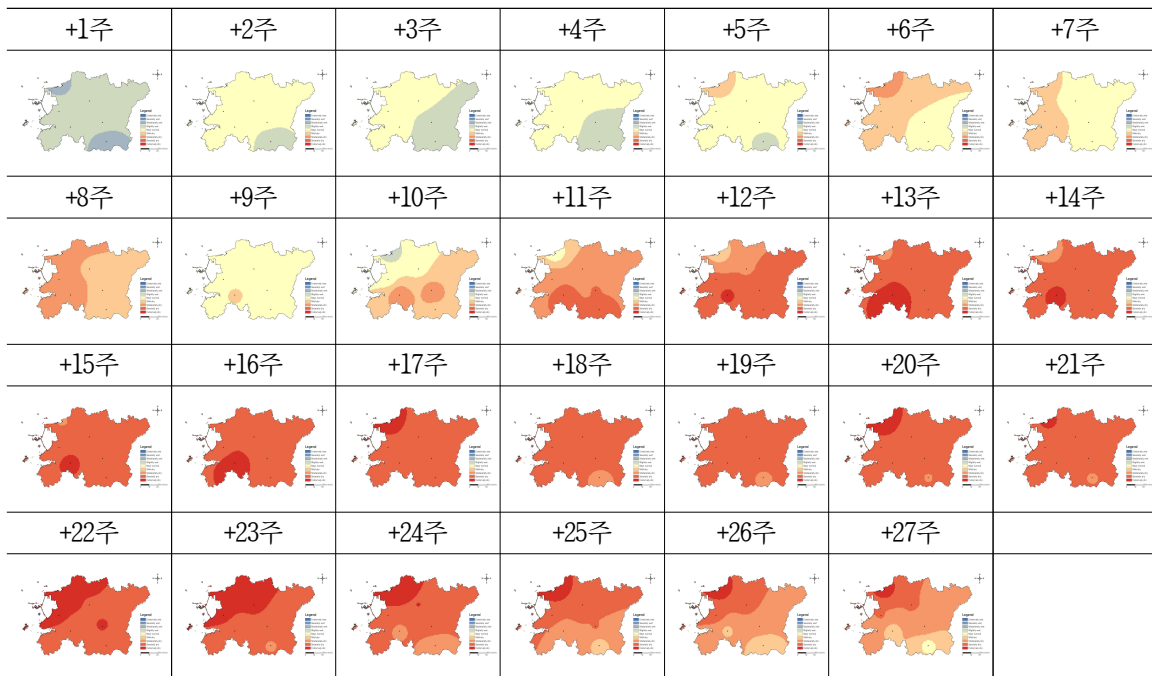
<2018년 4월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>



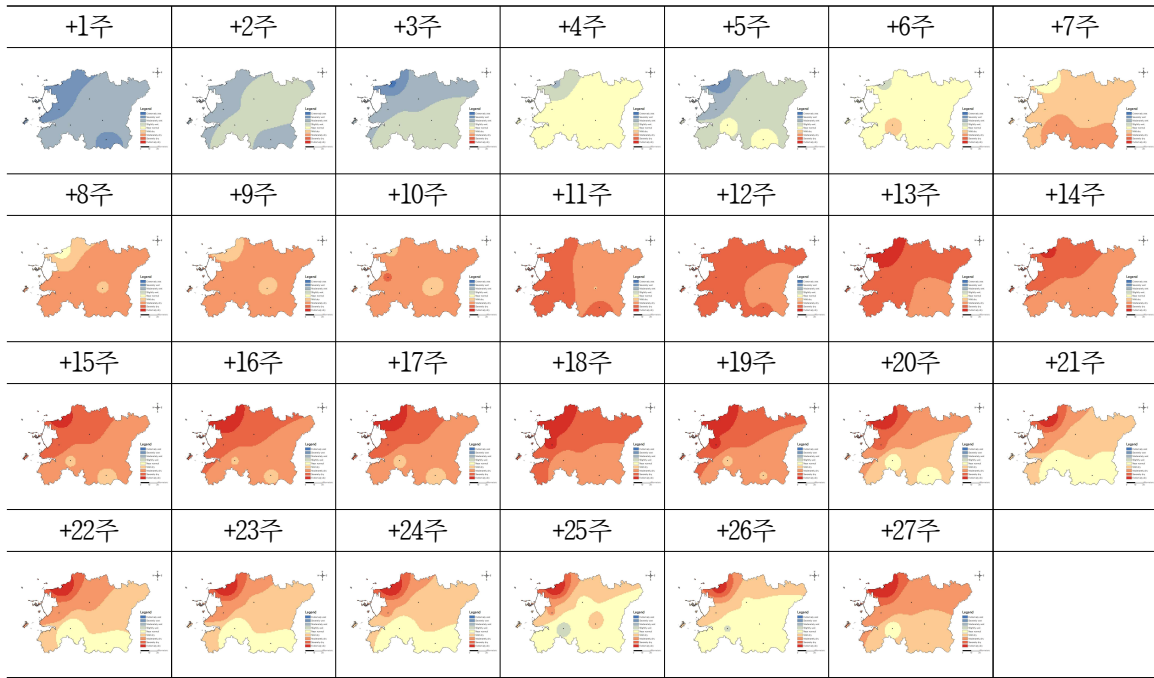
<2018년 4월 예측자료를 활용한 관측소별 modified-SPEI 산정결과>

	군산	전주	정읍	부안	임실	남원
+1(weeks)	1.14	0.51	0.88	0.88	0.65	0.63
+2(weeks)	1.01	0.29	0.79	0.67	0.41	0.36
+3(weeks)	1.02	0.55	1.10	0.71	0.52	0.58
+4(weeks)	0.88	0.48	0.80	0.44	0.31	0.36
+5(weeks)	0.50	0.29	0.59	0.11	0.14	0.26
+6(weeks)	0.23	-0.12	0.12	-0.41	-0.25	-0.12
+7(weeks)	-0.19	-0.52	-0.32	-0.90	-0.42	-0.60
+8(weeks)	-0.29	-0.73	-0.43	-1.00	-0.66	-0.89
+9(weeks)	-0.16	-0.78	-0.38	-0.95	-0.62	-0.79
+10(weeks)	-0.61	-1.00	-0.70	-1.18	-0.93	-0.72
+11(weeks)	-0.95	-1.57	-1.33	-1.50	-1.26	-1.33
+12(weeks)	0.08	-1.22	-1.36	-1.50	-1.30	-1.55
+13(weeks)	-0.64	-1.58	-1.81	-1.92	-1.64	-1.77
+14(weeks)	0.80	-0.90	-1.26	-0.74	-1.14	-1.16
+15(weeks)	0.29	-0.98	-1.33	-1.09	-1.14	-1.29
+16(weeks)	0.22	-1.47	-1.69	-1.38	-1.43	-1.60
+17(weeks)	0.06	-1.76	-1.97	-1.58	-1.65	-1.74
+18(weeks)	-0.14	-1.65	-2.08	-1.63	-1.78	-1.84
+19(weeks)	0.03	-1.57	-1.90	-1.56	-1.52	-1.77
+20(weeks)	-0.06	-1.59	-1.91	-1.65	-1.60	-1.77
+21(weeks)	-0.26	-1.68	-2.06	-1.61	-1.64	-1.66
+22(weeks)	-0.54	-1.70	-1.79	-1.77	-1.74	-1.28
+23(weeks)	-0.35	-1.53	-1.37	-1.57	-1.44	-0.98
+24(weeks)	-0.39	-1.41	-1.39	-1.66	-1.42	-0.94
+25(weeks)	-0.57	-1.42	-1.29	-1.62	-1.09	-0.79
+26(weeks)	-0.50	-1.30	-1.15	-1.52	-0.96	-0.70
+27(weeks)	-1.16	-1.51	-1.30	-1.83	-1.15	-0.90

<2018년 5월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>



<2018년 6월 예측자료를 활용한 modified-SPEI 산정결과>

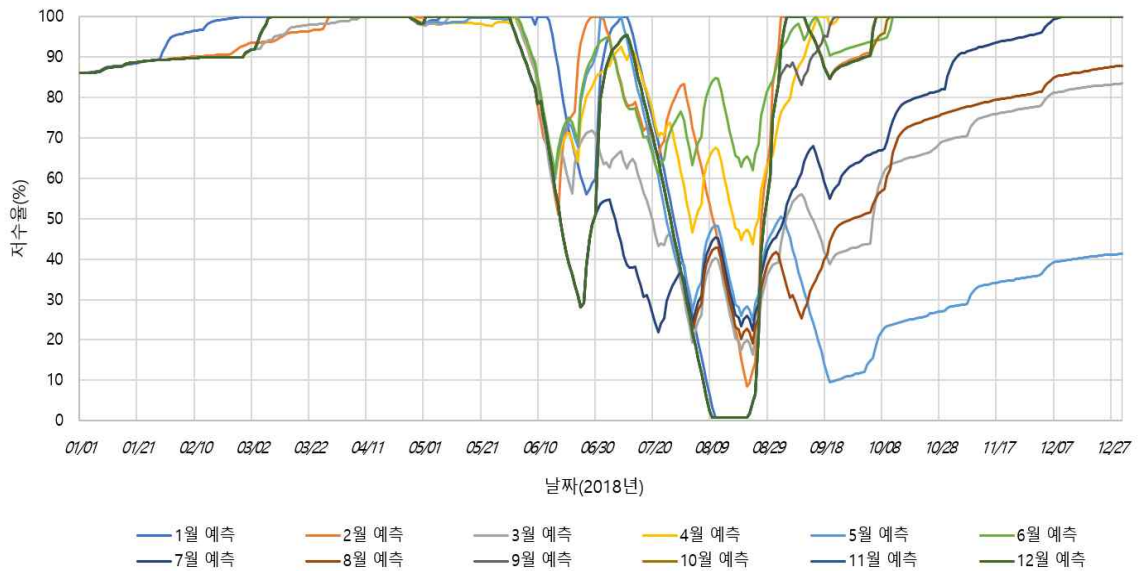


② RDI 기반 농업가뭄 확산 예측(중장기기후 예측정보 활용)

- 대상저수지 : 리빙랩 운영기반 구축 저수지(익산 왕궁저수지)

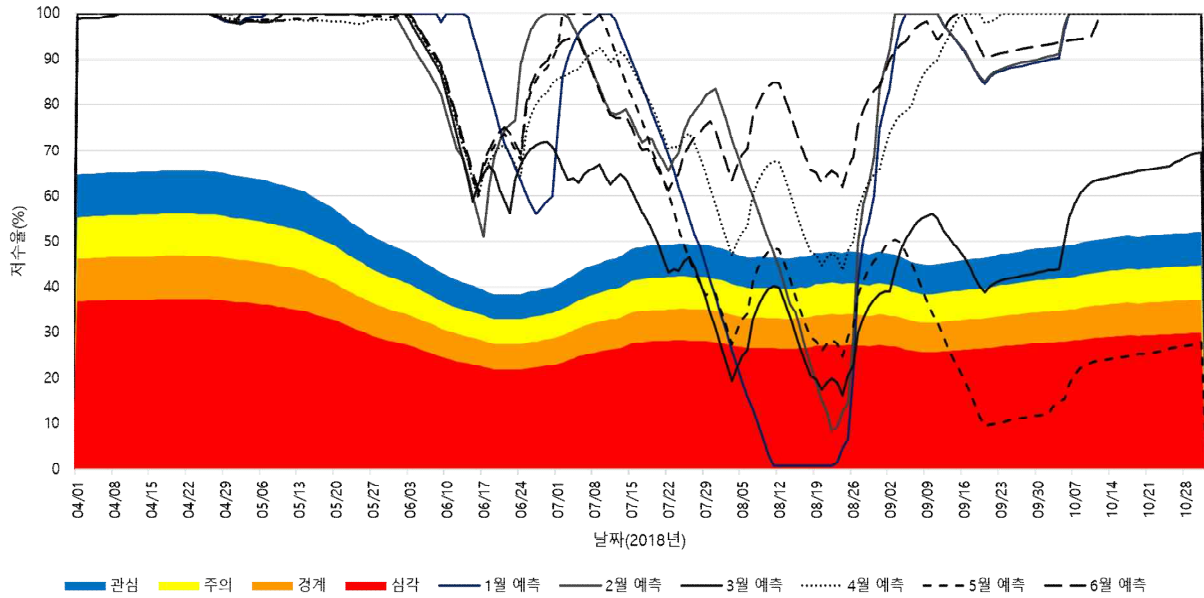
- 중장기기후 예측정보 활용 저수지 저수율 모의

- 대상저수지 : 리빙랩 운영기반 구축 저수지(익산 왕궁저수지)
- 중장기기후 예측정보 활용 저수지 저수율 모의



<중장기기후 예측정보 활용 저수지 저수율 모의 결과(2018년)>

- 저수율 모의결과를 활용한 RDI 기반 농업가뭄 확산을 예측하였다.



<RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년)>

- 저수율 모의결과를 활용한 RDI 기반 가뭄일수 분석

- 중장기기후 예측정보 활용 저수율 모의 및 RDI 기반 가뭄일수 분석 결과, 특정 월 기준 저수율 과다 또는 과소 모의로 RDI 기반 불확실성 증가하여 저수율 모의 방안 개선 필요하다.

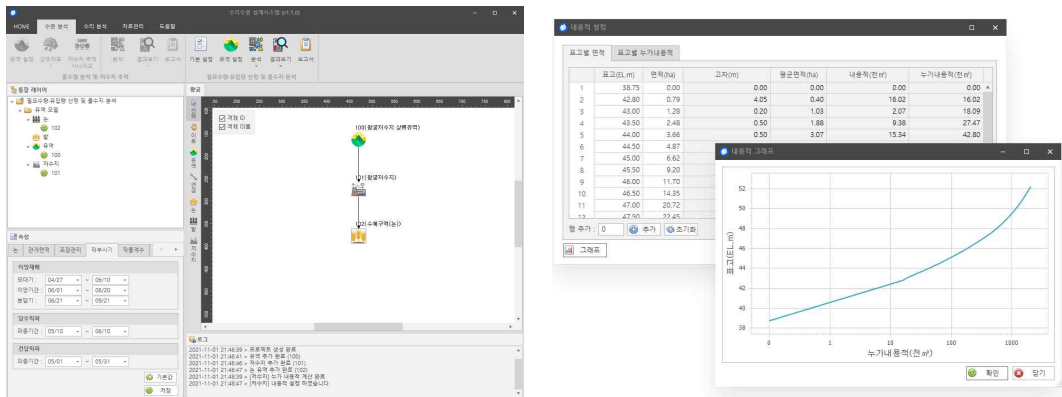
구분			가뭄일수				비고
구분	기후예측 기준월	가뭄예측기간	관심	주의	경계	심각	
예측	1월	1월 - 6월	31	28	26	24	
	2월	2월 - 7월	15	13	11	9	
	3월	3월 - 8월	63	36	23	17	
	4월	4월 - 9월	7	0	0	0	
	5월	5월 - 10월	91	76	65	50	
	6월	6월 - 10월	0	0	0	0	
	7월	7월 - 10월	62	46	30	14	
	8월	8월 - 10월	63	47	28	14	
	9월	9월 - 10월	38	32	27	25	
	10월	10월	38	32	27	25	
실측치(4월 - 10월)			9	0	0	0	

○ 예측자료 기반 농업용수 관리자 중심의 수요 및 공급 모의 모듈 개발

1) 농업용수 관리자 중심의 수요 및 공급 모의 모듈

- 한국농어촌공사 수리수문설계시스템(KRC Hydraulics & Hydrology Analysis System, K-HAS)을 활용한 수요 및 공급 모의 모듈
 - 관개계획을 수립하기 위한 유역 유입량 및 관개 필요수량의 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 내에서 구현되었다.
 - 기존 HOMWRS(수리시설물모의조작시스템)는 설계목적으로 한 개의 저수지에 대한 용수 공급능력만을 검토할 수 있었으나 K-HAS는 설계자 및 시설 관리자가 유역전반의 용수 공급을 모의운영 함으로써 설계 및 관리를 손쉽게 할 수 있도록 기초자료를 DB화하고 입·출력자료의 활용성을 강화했으며 네트워크 구성을 통하여 유역내의 농업용수 수요·공급 분석을 수행할 수 있다.
- 대상저수지(왕궁저수지)의 논 필요수량 산정
 - 논 벼의 경우 단위면적당 필요수량은 증발산량과 침투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구하게 되며, 침투량은 토양의 종류, 지하수위 등의 의해 영향을 받으며 증발산량은 작물의 종류 및 당일의 기상여건에 의해 변화하고 유효우량은 강우량의 유무 및 대소에 영향을 받게 된다.
 - 필요수량은 일반적으로 당일의 기상상태에 따라 잠재증발산량을 추정하고 작물계수를 통해 이를 보정하여 실제증발산량을 산출한다. 여기에, 토양조건에 따른 침투량 및 유효우량, 생육기별 물 관리 방식을 고려하여 논에서의 필요수량을 결정한다.
 - 본 연구에서는 논 수요량 산정 시 일반적으로 모를 키워 논에 이양하는 이양재배 방식으로 설정하여 필요수량을 산정하였다.
- 대상저수지(왕궁저수지)의 유역 유출량 산정
 - ‘관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생(김현영, 1987)’연구에서 적용하였던 DIROM모형을 이용하여 일별유입량을 산정하였다.
 - DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model) 모형은 농업용 저수지의 일별 유입량을 모의발생하기 위하여SUGAWARA (1978)의 TANK 모형을 우리나라 관개용 저수지의 유역특성에 맞게 수정한 것으로서 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량을 모의발생하는 일유출량 추정 모형이다.
- 대상저수지(왕궁저수지)의 물수지 분석
 - 계산된 유입량 및 필요수량 자료를 이용하여 일단위 저수량 변화를 추정하기 위해 다음과 같은 연속방정식을 사용한다.
$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + O_t + E_t)$$
(여기서, S_{t-1} : t-1 일의 저수량, I_t : 유입량, P_t : 수면강수량, R_t : 방류량, O_t : 여수토 월류량, E_t : 수면증발량)
 - 농업용저수지는 일반 여수토가 자연월류식이므로 시간별 변화를 무시하고, 저수지의 저수량이 여수토의 제정고 이상일 경우 그 이상되는 저수량은 모두 월류하는 것으로 가정한다.

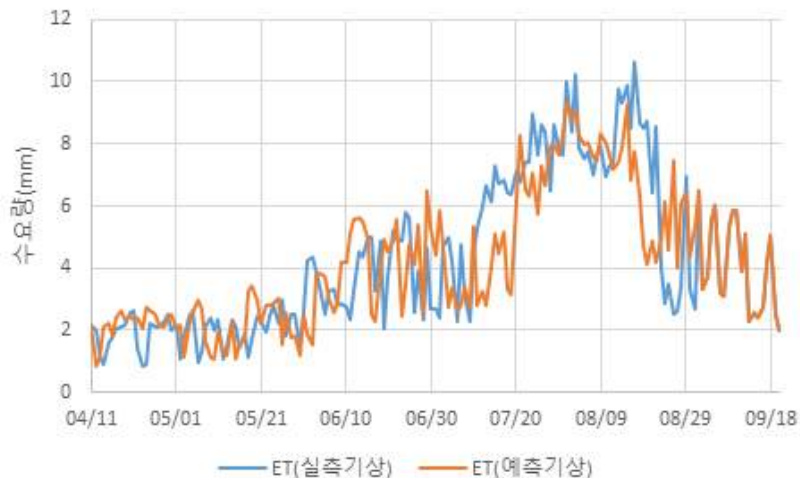
- 대상저수지의 수요 및 공급모의를 위한 네트워크 구성



<수요 및 공급모의를 위한 네트워크 구성> <물수지 분석을 위한 내용적 자료 구성>

2) 중장기기후예측정보를 활용한 농업용수 관리자 중심의 수요 및 공급 모의

- 중장기기후예측정보를 활용한 농업용수 관리자 중심의 수요 모의



<중장기기후 예측정보 활용 농업용수 수요 모의(2월 기상예측자료 기준)>

- 중장기기후예측정보를 활용한 농업용수 관리자 중심의 공급 모의



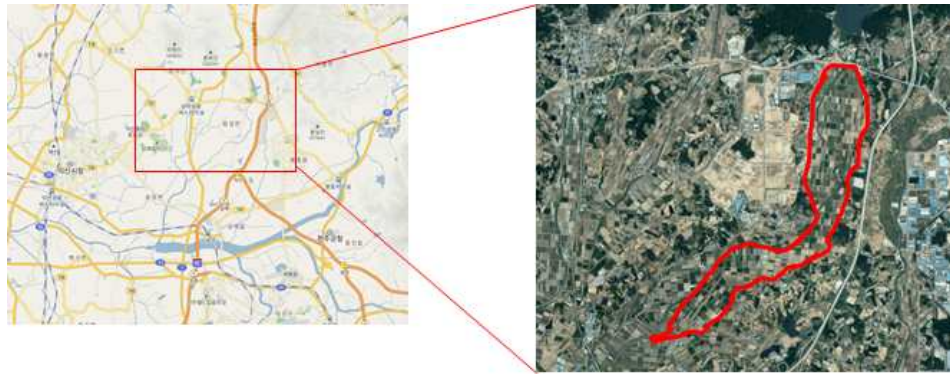
<중장기기후 예측정보 활용 농업용수 공급 모의(2월 기상예측자료 기준)>

○ 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 실증모델 요소 기술 개발

1) 사용자 참여를 위한 리빙랩 운영기반 구축

- 리빙랩 운영 기반 구축을 위한 대상지 선정

- 전북 익산시 왕궁명 일대 예비저수지 조사 : 왕궁, 금마, 도순 저수지
- 대상 농업용 저수지 선정 : 저수지 규모(유효저수량) 및 용수계통도 고려 왕궁저수지 선정



<대상저수지(익산 왕궁저수지) 위치>

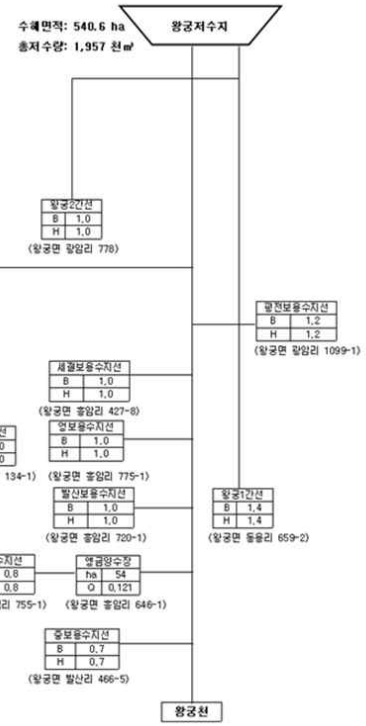


<대상저수지 및 수혜구역 현황>

- 대상저수지 제원 및 관련 자료 수집

<대상저수지 제원>

시설명	등록번호	수원공구분	위치			수혜면적 (ha)	착공일	준공일	사업승인일	설계기관	감독기관	시공회사	설계서유무	관할측후소		
			읍면	리동	마을											
왕궁	제2008-69호	주수원	왕궁	동용	용남	540.6	1928 02-01	1931 01-01	1928 01-01	왕궁수리조합	왕궁수리조합	자료없음	무			
유역면적 (ha)	만수면적 (ha)	총저수량 (천톤)	유효저수량 (천톤)	단위저수량 (m/m)	제당(m)			여수토(m)			방수로(m)					
					구조	연장	높이	법면 내제 외제	형식	연장	홍수량 (m³/S)	일류수심	연장	최대	최소	평균
866	47.9	1,957	1,941	362	필댐	343	13.3		월류형	37.2	59.4	0.2	168.6	17		
통관					취수시설									비고		
형식·규격		연장(m)		통수능력 (m³/S)		형식·규격		연장(m)		취수공(공)		취수량 (m³/S)				
마제형, 0.90m		65		0.5		사통형, 0.60m		10		2		0.5				



<수혜구역 및 용수계통도>

- 농업용수 관리 리빙랩 현장 구성원 조직 및 운영기반 마련

- 공급자 및 분배자 측면(한국농어촌공사 전북지역본부, 익산지사) 및 수요자 측면(농업인) 현장 구성원 면담 및 운영기반 마련하였다.



<리빙랩 운영 현황>

	성명	소속	전화번호	비고
공급자	고○○	한국농어촌공사 전북본부	010-2777-60○○	
	민○○	한국농어촌공사 익산지사	010-8649-29○○	
	최○○	한국농어촌공사 익산지사	010-3676-26○○	
분배자	최○○	현장 수리시설관리원	010-6440-49○○	
수요자	김○○	지역대표 농업인	010-6633-77○○	
	유○○	지역대표 농업인	010-4860-48○○	

<가뭄대비 농업용수 구조적 사전관리 요소기술 및 리빙랩 적용가능 검토>

가뭄단계	수요자		관리자	
	요소기술	리빙랩 적용가능 여부	요소기술	리빙랩 적용가능 여부
관심·사후 복구단계 (가뭄대비, 계획단계)	수동으로 조작되는 물꼬 관리 부실로 인한 물손실을 최소화하기 위한 자동물꼬 설치	○	<ul style="list-style-type: none"> · 토공수로의 구조물화, 용수로의 관수로화 · 조절지의 연계운영 · 수로 시설물의 현대화 관측관리시스템의 도입 · 공급량 산정시스템의 작용 · 개보수사업의 역점추진 	<ul style="list-style-type: none"> × × × ○ ×

마. 농촌 현장 문제 수집을 위한 리빙랩 체계 구축

○ 농촌 현장 문제 수집을 위한 리빙랩 체계 구축

1) 현안 분석을 위한 현장 구성원 조직 및 참여를 통한 리빙랩 운영 기반 마련

- 온라인 리빙랩 연구 사이트 구축/오픈

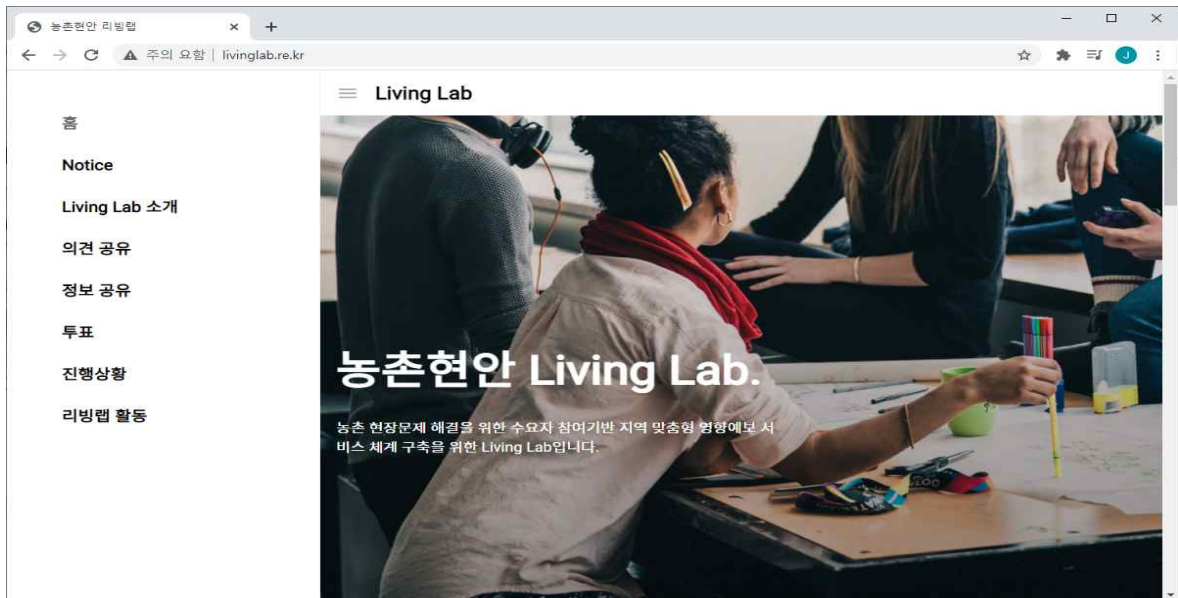
- 안정적인 과제 운영 및 지속적인 과제 정보를 온라인 상에 공유하기 위한 목적으로 연구 기간 초반에 온라인 리빙랩 연구 사이트 구축하였다.

- 기능

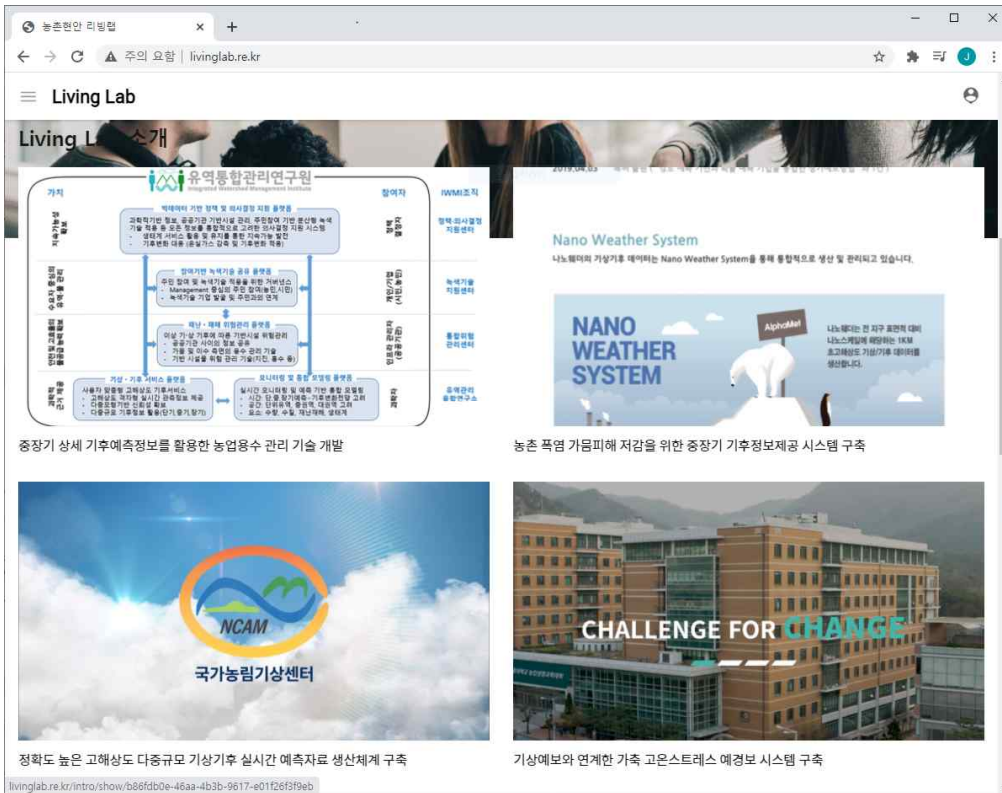
- 공지사항
- 연구 내용 / 참여 연구기관 소개 페이지
- 의견 공유 게시판 : 공개 게시판 / 내부 연구자간 폐쇄 게시판
- 투표 기능 : 필요시 투표/설문을 할 수 있는 기능
- 진행상황 : 연구 진행상황을 공유할 수 있는 게시판
- 회원가입/로그인 (회원 등급 구별 : 연구자, 일반회원)

- 기대 효과

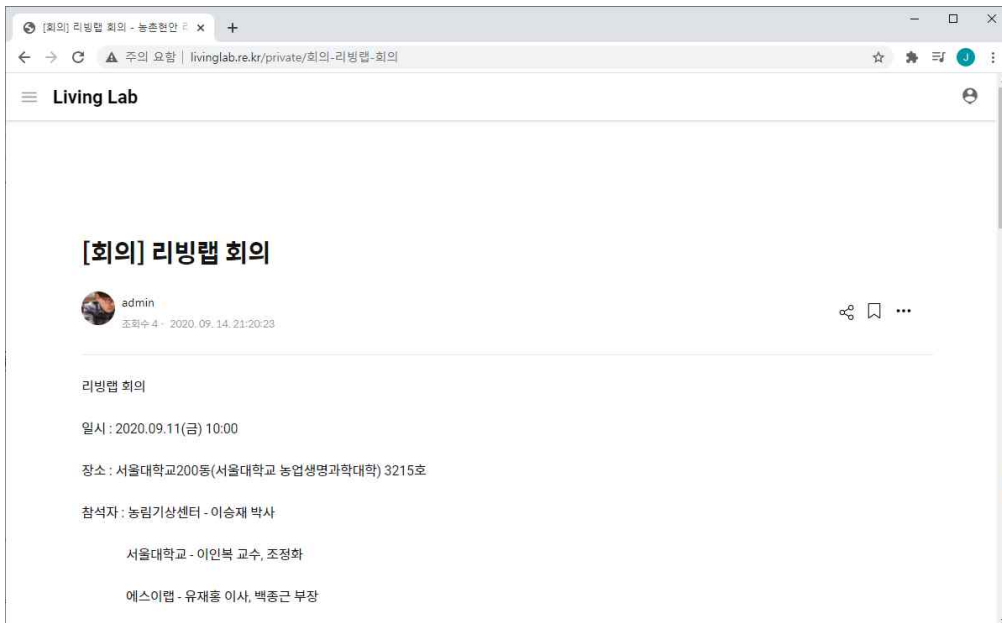
- 투표 기능 : 필요시 투표/설문을 통해 의견조사 할 수 있는 기능
- 홍보 기능 : 완성된 APP이나 웹페이지에 대한 홍보글 기재로 사용자 유입량 증가



<구축된 농촌 현안 리빙랩, <https://livinglab.re.kr>>



<참여기관 소개 페이지>



<내부 연구자 공유 폐쇄 게시판>

2) 리빙랩 연구 사이트 구축 및 운영을 통한 농촌 폭염·가뭄피해 현안 데이터 수집

- 농,축산 종사자들 대상으로 폭염, 가뭄 피해에 대한 현안 조사

- 목적 : 폭염, 가뭄, 장마 등 기후변화에 따른 피해조사를 통해 농축산 분야의 현안 해결을 위한 플랫폼으로의 역할을 하기 위해 리빙랩 서비스의 질과 실제 활용도를 높여 농,축산 종사자에게 실질적이 도움을 주기 위함이다.
- 기간 : 2020.11.1.~11.18
- 장소 : 전라북도 지역 (익산, 임실, 장수, 무주, 진안, 곡성, 순창, 완주)

- 대상 : 마을 단위 이장의 직접 대면을 통한 설문지

- 조사 요약

- 소모임 단위 3회
- 남자 82%, 여자 18%, 60대 이상 70% 이상
- 스마트폰 사용 60% 정도 이나 통화, 문자 외에는 사용 하지 않는다.
- 6~70대는 여전히 TV 뉴스의 일기예보를 통해 날씨 정보 획득 / 4~50대는 스마트폰 이용한다.
- 농업 종사자의 경우 가뭄의 경우 자가양수, 지하수, 수도 등을 이용하여 대응 / 폭염은 대책이 거의 없다.
- 양계장의 경우 폭염이 알 생산/성장 저하로 악영향을 미치고 있고 물을 뿌리는 등의 방법으로 대응한다.
- 현재는 스마트폰 어플 등의 사용도 쉽지 않은 환경이다. (문자 정보가 효율적이라고 판단)

- 요청 사항

- 농촌의 연령대가 높기 때문에 스마트폰의 실질적인 사용 빈도가 낮아 긴급재난경보처럼 문자 정보 등이 효율적으로 판단하였다.
- 기후 변화에 따른 작목 변경 : 날씨가 점점 온난화로 그 기후에 맞는 작목을 선정해서 농사 정보를 제공하면 좋을 것으로 판단된다.
- 현재 시설들이 많이 낙후되어 있으며 특별한 지원책, 시설개선이 필요하며 비용에 대한 부담 해결이 필요하다.
- 날씨 정보를 농협, 축협 등에서 기후 관련 정보 문자 제공 받고 있다. (현실적으로 가장 많은 사람들이 볼 수 있는 서비스)
- 향후 스마트폰 사용 인구가 더 늘어나면서 농축산에 특화된 어플이 개발되어 점진적으로 확대가 되었으면 좋을 것 같다는 50대 이하의 소수 의견이 있었다.

2-2. 2차년도 (2021)

가. 다중규모 기후정보 예측성 평가 및 영향예보 연계 기술 개발

○ 단기·중기 앙상블 자료동화 기반 기상예측 및 예측성 평가

1) LAMP WRF 초기/경계장 생성을 위한 GLDAS 자료의 도입

- GLDAS 자료

- GLDAS(Global Land Data Assimilation System) 자료는 전지구 자료 동화 시스템 자료으로 NASA 고다드 우주 비행 센터의 수문 과학 연구소와 고다드 지구 과학 자료 및 정보 서비스 센터에서 모의하여 제공하고 있다.
- 이러한 GLDAS 중 GLDAS-2는 버전 2.0, 2.1 그리고 2.2으로 총 세 가지 버전으로 제공되며 각각의 제공되는 자료의 기간과 자료 동화 유무에 따라 버전이 달라진다.
- 이 연구에서는 세가지의 GLDAS-2 가운데 버전 2.1을 선택하여 사용하였다.
- GLDAS V2.1은 남위 60도 이북 영역에서 0.25도의 수평해상도와 3시간 간격의 시간해상도를 지니며, 21년 10월 18일을 기준으로 2000년 1월 1일부터 2021년 7월 1일까지의 자료를 제공 중에 있다.
- GLDAS V2.1은 기상과 지표면 매개 변수를 입력 자료로 지표면 모델(Noah)에 입력하여 모델을 수행하였다.
- 기상과 지면 매개 변수를 지면 모델에 적용하여 자료를 제공 중에 있다.

<GLDAS V2.1에 사용되는 기상 입력 자료>

Data Set		Parameter	Domain
Name	Type		
NCEP's Global Data Assimilation System (GDAS)	Model Derived	Meteorology Forcing	Global
Air Force Weather Agency(AFWA) Radiation	Satellite Observed	Shortwave Longwave	Global
Global Precipitation Climatology Project (GPCP)	Merged Satellite/Gauge	Mean rain rate	Global

- GLDAS V2.1의 구동에 사용되는 기상 입력 자료는 세 기관에서 제공되는 기상 자료셋을 이용했다.
- NCEP의 자료는 자료 동화 후 모델에 구동하여 생성된 기온, 습도, 바람, 기압 등의 자료를 이용했다.
- 복사 자료의 경우 위성 기반으로 관측된 단파/장파 복사에 대한 자료를 미 공군에서 제공하여 이용했다.
- 평균 강우율 자료는 NCAR에서 제공하는 GPCP 강우 자료를 이용했다.

<GLDAS V2.1에 사용되는 지표면 매개 변수>

	Data Set	Parameter	Domain
Elevation	USGS	DEM	Global
Soils	FAO16	Soil texture	Global
Vegetation	Catchment Dominant Vegetation Type (USGS)	Vegetation Type (Maks/Class)	Global
	MODIS	Land/Sea Mask	Global
	AVHRR	LAI (Leaf Area Index)	Global
	NCEP Data	Canopy Greenness	Global

- GLDAS V2.1에 입력되는 지표면 매개 변수는 지형고도, 토양, 식생 자료 등이 있다.
 - 지형 고도의 경우 USGS에서 제공되는 GTOPO30이라 불리는 DEM(Digital Elevation model) 자료를 이용한다.
 - 토양 자료는 FAO16의 Soil texture 자료를 이용 중에 있다.
 - 식생 구분 자료는 유역 지배적 식생 구분 자료로 USGS의 전세계 토지피복 자료를 사용하며, NCEP 자료를 통해 Canopy Greenness를 입력 매개변수로 처리하여 사용한다.
 - 마지막으로 MODIS의 Land/Sea Mask를 통해 육해상을 구분하고 AVHRR의 잎면적지수 자료를 사용하였다.
 - GLDAS V2.1은 층별 토양수분과 토양온도 자료를 포함하여 총 36개의 변수를 제공 중에 있다.
- LAMP WRF에 적용하기 위한 GLDAS 자료 변환
- GLDAS V2.1은 NetCDF4(nc4) 형태로 제공 중에 있다.
 - 그러나 WRF의 초기장/경계장에 생성되는 WPS는 GRIB1 또는 GRIB2 자료만을 이용하여 전처리를 수행하였다.
 - 따라서 GLDAS의 NetCDF 형식을 GRIB으로 변환이 필수적이다.

<GLDAS V2.1의 출력 자료>

Name	Description	Time
SWnet	Net Short wave radiation flux	average
LWnet	Net long wave radiation flux	average
Qle	Latent heat net flux	average
Qh	Sensible heat net flux	average
Qg	Heat flux	average
Snowf	Snow precipitation rate	average
Rainf	Rain precipitation rate	average
Evap	Evapotranspiration	average
Qs	Storm surface runoff	accumulation or average
Qsb	Baseflow-groundwater runoff	accumulation or average
Qsm	Snow melt	accumulation or average
AvgSurfT	Average surface skin temperature	instantaneous
Albedo	Albedo	instantaneous
SWE	Snow depth water equivalent	instantaneous
SnowDepth	Snow depth	instantaneous
SoilMoist(Depth)	Soil moisture	instantaneous
SoilTMP(Depth)	Soil temperature	instantaneous
PotEvap	Potential evaporation rate	average
ECanop	Canopy water evaporation	average
Tveg	Transpiration	average
ESoil	Direct Evaporation from Bare soil	average
RootMoist	Root zone soil moisture	instantaneous
Canopint	Plant canopy surface water	instantaneous
Wind_f	Wind speed	instantaneous
Rainf_f	Total precipitation rate	instantaneous
Tair_f	Temperature	instantaneous
Qair_f	Specific humidity	instantaneous
Psurf_f	Pressure	instantaneous
SWdown_f	Downward short wave radiation	average or instantaneous
LWdown_f	Downward long wave radiation	average or instantaneous

```

#!/bin/csh
set RUN_DIR = $1
set f_name = $2
set out_f_name = $3
set i = 1
set num = (01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36)
set param_num = (111 112 121 122 155 131 \
                  132 057 235 234 099 138 \
                  084 065 066 086 086 086 \
                  086 085 085 085 085 145 \
                  200 210 199 070 071 032 \
                  059 011 051 001 204 205)

set grib_level = (001 001 001 001 001 001 \
                  001 001 001 001 001 001 \
                  001 001 001 112 112 112 \
                  112 112 112 112 112 001 \
                  001 001 001 001 001 105 \
                  001 105 105 001 001 001)

set set_name = (NSWRS SLWRS LHTFL SHTFL GFLUX \
                SPRATE RPRATE EVP SSRUN BGRUN SNOM \
                AVSFT ALBDO WEASD SNOD \
                SM000010 SM010040 SM040100 SM100200 \
                ST000010 ST010040 ST040100 ST100200 \
                PEVPR EVCW TRANS EVBS RootMst CNWAT WIND \
                PRATE TMP SPFH PSFC DSWRF DLWRF)

set var_name = (Swnet_tavg Lwnet_tavg Qle_tavg Qh_tavg Qg_tavg Snowf_tavg \
                Rainf_tavg Evap_tavg Qs_acc Qsb_acc Qsm_acc AvgSurfT_inst \
                Albedo_inst SWE_inst SnowDepth_inst SoilMoi0_10cm_inst SoilMoi0_40cm_inst SoilMoi0_100cm_inst \
                SoilMoi100_200cm_inst SoilTMP0_10cm_inst SoilTMP10_40cm_inst SoilTMP40_100cm_inst SoilTMP100_200cm_inst PotEvap_tavg \
                Ecanop_tavg Tveg_tavg ESoil_tavg RootMoist_inst CanopInt_inst Wind_f_inst \
                Rainf_f_tavg Tair_f_inst Qair_f_inst Psurf_f_inst Sdown_f_tavg LWdown_f_tavg)

set table_name = ( blank blank blank blank blank blank \
                  blank blank blank blank blank blank \
                  blank blank blank zaxis_S000010 zaxis_S010040 zaxis_S040100 \
                  zaxis_S100200 zaxis_S000010 zaxis_S010040 zaxis_S040100 zaxis_S100200 blank \
                  blank blank blank blank blank zaxis_h10 \
                  blank zaxis_h2 zaxis_h2 blank blank blank )

set logic_TF = ( F F F F F F \
                 F F F F F F \
                 F F F T T T \
                 T T T T T F \
                 F F F F F T \
                 F T T F F F )

while ($i < 37)
if ( ${logic_TF[$i]} == 'F') then
echo "False" ${var_name[$i]}
set step_f_name = `echo ${f_name} | cut -c1-36`
set step1_f_name = step1_${step_f_name}var${num[$i]}.nc
set step2_f_name = step2_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step3_f_name = step3_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step4_f_name = step4_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step5_f_name = step5_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step6_f_name = fin_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
cdo selname,${var_name[$i]} ${RUN_DIR}/${f_name} ${RUN_DIR}/${step1_f_name}
cdo -f grb copy ${RUN_DIR}/${step1_f_name} ${RUN_DIR}/${step2_f_name}
cdo setttype,${grib_level[$i]} ${RUN_DIR}/${step2_f_name} ${RUN_DIR}/${step3_f_name}
cdo chcode,1,${param_num[$i]} ${RUN_DIR}/${step3_f_name} ${RUN_DIR}/${step4_f_name}
cdo setname,${set_name[$i]} ${RUN_DIR}/${step4_f_name} ${RUN_DIR}/${step5_f_name}
cdo mulc,1.0 ${RUN_DIR}/${step5_f_name} ${RUN_DIR}/${step6_f_name}
endif

if ( ${logic_TF[$i]} == 'T') then
echo "True" ${var_name[$i]}
echo ${RUN_DIR}/table/${table_name[$i]}
set step_f_name = `echo ${f_name} | cut -c1-36`
set step1_f_name = step1_${step_f_name}var${num[$i]}.nc
set step2_f_name = step2_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step3_f_name = step3_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step4_f_name = step4_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step5_f_name = step5_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step6_f_name = step6_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
set step7_f_name = fin_${step_f_name}var${num[$i]}.gb
cdo selname,${var_name[$i]} ${RUN_DIR}/${f_name} ${RUN_DIR}/${step1_f_name}
cdo -f grb copy ${RUN_DIR}/${step1_f_name} ${RUN_DIR}/${step2_f_name}
cdo setttype,${grib_level[$i]} ${RUN_DIR}/${step2_f_name} ${RUN_DIR}/${step3_f_name}
cdo chcode,1,${param_num[$i]} ${RUN_DIR}/${step3_f_name} ${RUN_DIR}/${step4_f_name}
cdo setzaxis,/home01/r806a04/table/${table_name[$i]} ${RUN_DIR}/${step4_f_name} ${RUN_DIR}/${step5_f_name}
cdo setname,${set_name[$i]} ${RUN_DIR}/${step5_f_name} ${RUN_DIR}/${step6_f_name}
cdo mulc,1.0 ${RUN_DIR}/${step6_f_name} ${RUN_DIR}/${step7_f_name}
endif
@ i ++
end
cat ${RUN_DIR}/fin*.gb > ${RUN_DIR}/${out_f_name}
rm ${RUN_DIR}/step* ${RUN_DIR}/fin*

```

<GLDAS에 대한 포맷 변환 프로그램>

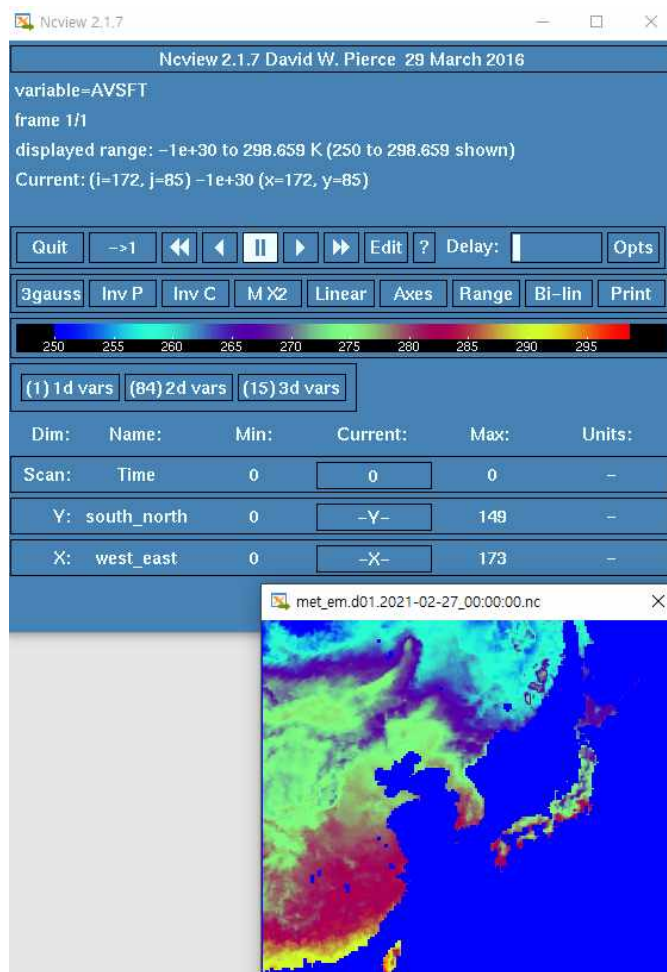
- GLDAS의 포맷 변환은 다음과 같은 순서로 수행하였다.
 - a. GLDAS의 변수별로 nc4 분할
 - b. 분할된 GLDAS의 GRIB1으로 변환
 - c. GRIB의 Parameter Number 지정
 - d. GRIB Level 지정
 - e. GRIB Level에 따른 깊이 조정

f. GRIB 파일 병합

- GRIB1 포맷으로 변환된 GLDAS 자료는 다음과 같은 Vtable을 통하여 읽을 수 있다.

GRIB1 Param	Level Type	From Level1	To Level2	Name	Units	Description
111	1	0		NSWRS	W m-2	Net Shortwave Radiation
112	1	0		NSWRS	W m-2	Net Longwave Radiation
121	1	0		LHTFL	W m-2	Latent Heat Flux
122	1	0		SHTFL	W m-2	Sensible Heat Flux
155	1	0		GLFLX	W m-2	Ground Heat Flux
224	1	0		SPRATE	kgm-2 s-1	Snowfall Rate
223	1	0		RPRATE	kgm-2 s-1	Rainfall Rate
057	1	0		EVP	kgm-2	Total Evapotranspiration
235	1	0		SSRLN	kgm-2	Surface Runoff
234	1	0		BGRLN	kgm-2	Subsurface Runoff
099	1	0		SNOM	kgm-2	Snowmelt
148	1	0		AVSFT	K	Average Surface Temperature
084	1	0		ALBDO		Surface Albedo, All wavelength
095	1	0		WEASD	kgm-2	Snow Water Equivalent
099	1	0		SNOD	m	Snow Depth
099	112	0	10	SM000010	kgm-2	Average layer 1 soil moisture
099	112	10	40	SM100040	kgm-2	Average layer 2 soil moisture
099	112	40	100	SM40100	kgm-2	Average layer 3 soil moisture
099	112	100	200	SM100200	kgm-2	Average layer 4 soil moisture
085	112	0	10	ST000010	K	Average layer 4 soil temperature
085	112	10	40	ST010040	K	Average layer 4 soil temperature
085	112	40	100	ST040100	K	Average layer 4 soil temperature
085	112	100	200	ST100200	K	Average layer 4 soil temperature
145	1	0		PEVPR	W m-2	Potential Evaporation rate
200	1	0		EVCM	W m-2	Canopy Water Evaporation
210	1	0		TRANS	W m-2	Transpiration
199	1	0		EVBS	W m-2	Direct Evaporation from Bare soil
070	1	0		RootMst	kgm-2	Root zone soil moisture
223	1	0		SMAT	kgm-2	Plant canopy surface water
032	105	10		WIND	m s-1	wind speed
056	1	0		RPRATE	kgm-2s-1	Total precipitation rate
011	105	2		TMP	K	Temperature
051	105	2		SPFH	kg kg-1	Specific humidity
001	1	0		PSFC	Pa	Pressure
204	1	0		DSWRF	W m-2	Downward short-wave radiation flux
205	1	0		DLWRF	W m-2	Downward long-wave radiation flux

<WPS에서 GLDAS를 읽기 위한 Vtable>

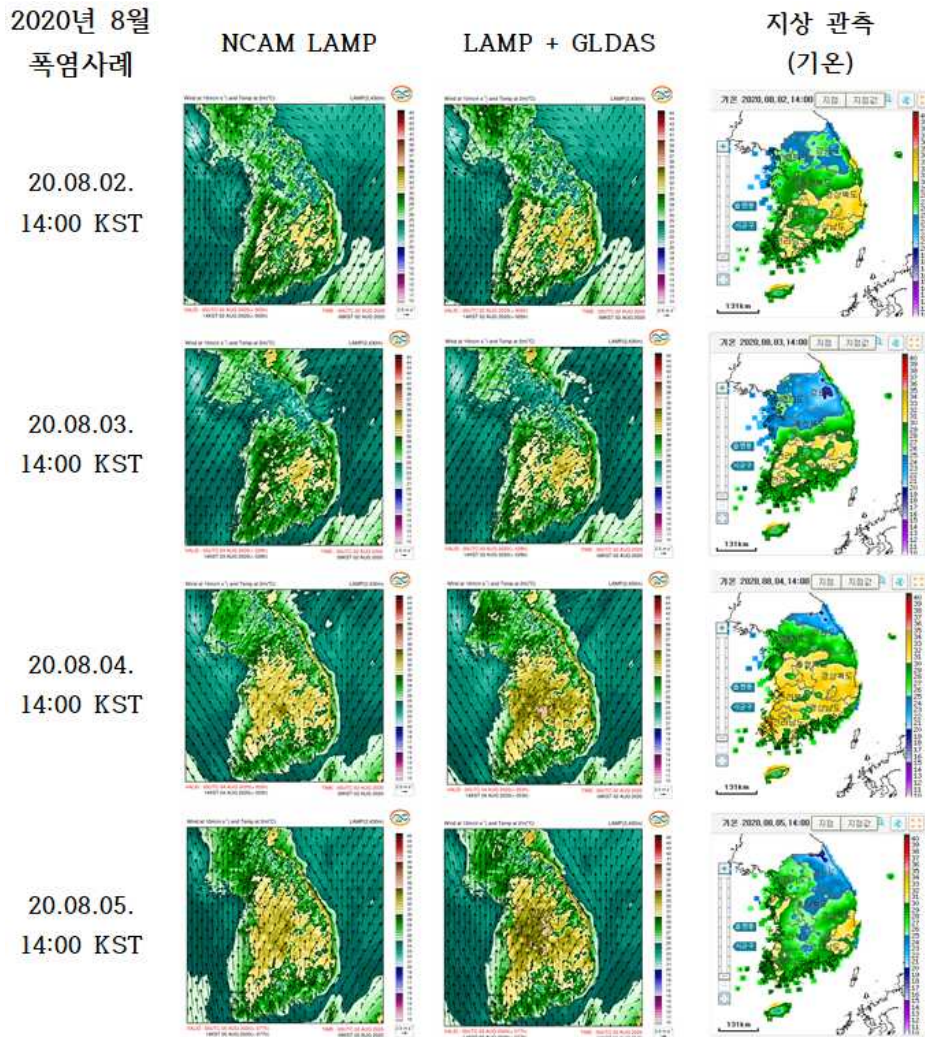


<GLDAS를 이용한 WPS 구동 예제(AVSFT: 평균 지표면 온도)>

- GRIB1 포맷으로 변환된 GLDAS 자료를 이용해 WPS를 구동하는 경우 위와 같은 예제로 전처리가 완료되었다.

2) GLDAS를 이용한 초기장/경계장 생성 및 LAMP WRF 구동

- 2020년 8월 폭염 사례



<2020년 8월 폭염 사례에 대한 기존 LAMP와 GLDAS를 이용한 LAMP의 기온 분포 및 지상 기온 분포 비교>

- 2020년 8월 초 남부 지방 내륙을 중심으로 발생한 폭염 사례에 대하여 기존 구동된 NCAM-LAMP와 GLDAS를 포함하여 만든 초기/경계장을 이용한 LAMP의 기온 분포를 지상 관측과 비교하였다.
- LAMP와 GLDAS를 결합한 LAMP 그리고 지상 기온 관측의 비교 시간은 2일부터 5일까지의 14:00 KST의 비교를 수행하였다. (14:00 KST를 비교한 이유는 최고 기온이 12시 이후 지연되어 나타나기 때문임)
- 8월 2일 14시 경상도와 전남 지역에 30도 이상의 높은 기온이 나타났다.
- 이에 LAMP와 GLDAS를 결합한 LAMP 또한 해당 지역에 30도 이상의 기온을 예측하였다.
- 하지만 GLDAS를 이용한 경우 고온이 나타나는 영역이 기존 LAMP에 비해 더 넓게 분포함을 확인하였다.
- 8월 3일도 유사하게 남부 지방을 중심으로 높은 기온을 유지하였으나 남해안과 경기도 및 강원도에서 기온이 전날에 비해 상대적으로 감소했다.
- 이러한 결과는 기존 LAMP와 GLDAS를 이용한 LAMP 또한 예측하였지만, 기온 분포에

차이가 존재함을 확인하였다.

- 8월 4일의 경우 분석 기간 중 가장 높은 기온과 넓은 고온 분포를 보였으며, 두 예측 모델 모두 높은 기온과 30도 이상의 영역이 남부지방을 중심으로 확장됨을 확인하였다.
- 8월 4일 GLDAS를 이용한 LAMP에서는 일부 영역에서 35도 이상의 기온을 예측함에 따라 과대모의 뒀을 확인하였다.
- 8월 5일 14시의 경우 지상 관측에서는 대부분의 지역에서 30도 미만의 기온을 유지하고 경상도와 일부 지역에서만 30도 이상의 기온이 분포함을 확인했다.
- 그러나 위와 같은 날짜에 두 예측모델에서는 대부분 높은 기온을 예측하였는데 이러한 결과는 예측 시간이 증가함에 따라 나타나는 성능 저하로 사료된다.

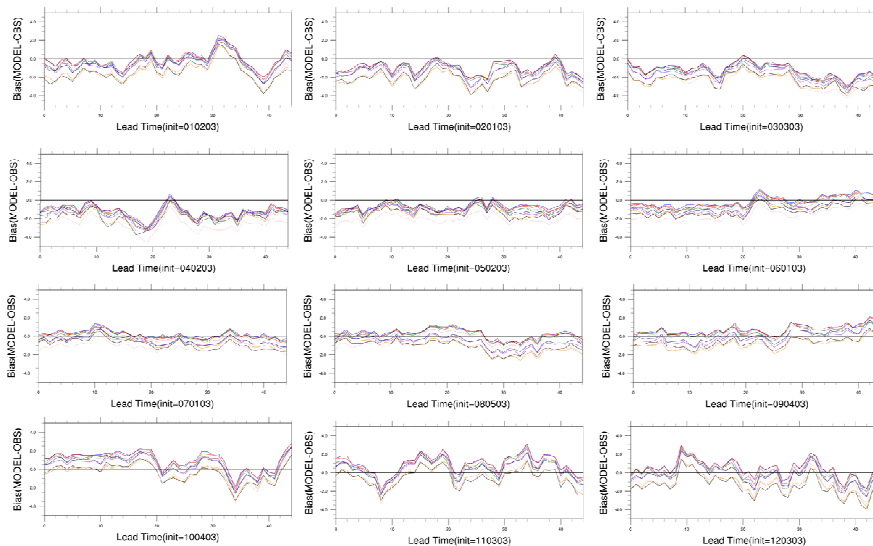
3) 중장기 고해상도 기상예측자료 성능 평가 및 영향예보 연계 모듈 개발

- 1차년도 구축한 실시간 중장기 고해상도(1 km) 기상예측모델 편의 분석

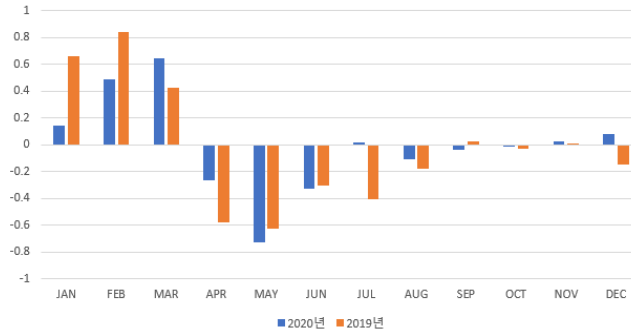
- 분석 및 검증지점: 전라북도 기상청 ASOS 지점 10개소
- 분석기간: 1991년~2010년
- 검증기간: 2019년~2020년



- 1991년~2010년 모델의 Reforecast 자료의 일평균기온예측 편차를 월별로 비교하면 예측 초기시각으로부터 예측시각이 멀어질수록(lead time=0~44days) 발생하는 예측 오차가 큰 겨울철에 크게 나타난다(1월, 10월, 11월, 12월).
- 초기장 날짜에 따라서 lead time에 따른 모델의 mean error가 일정하지 않다. 따라서 월별로 일평균기온의 mean error를 각기 구하여 제거하는 경우 4월~6월은 모든 지점에서 RMSE가 감소하였고, 8월~12월은 일부 지점을 제외하고 소폭 감소하였다. 모델의 bias 제거 후 정확도 개선이 계절적으로 일정하지 않아 모델의 systematic error를 설명할 수 있고, 전반적인 정확도 개선을 보장할 수 있도록 편의보정방법을 개선 중이다.



<CFS Reforecast 1991-2010년 일평균기온의 10개 분석지점별(실선) mean error. 같은 해상도의 관측기반 알파멧 자료를 사용함.>



<월별 CFSv2 상세화자료의 보정 전후 기온 RMSE 차이(보정 후 - 보정 전)>

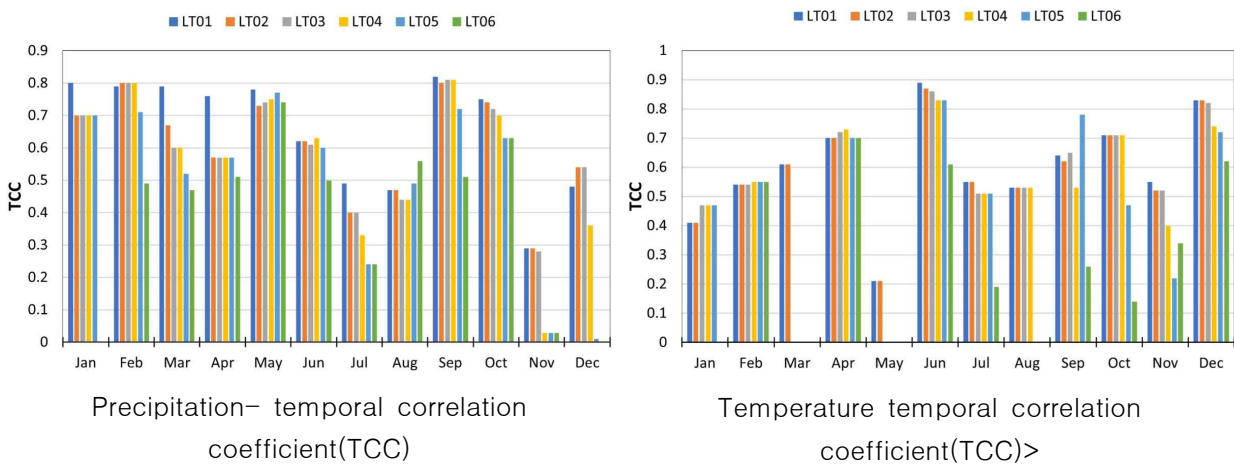
- 관측 및 중장기 기상예측모델링 상세화 시스템 고도화 및 작물생육, 가축, 용수관리 모델링 등의 맞춤 기상정보 생산 모듈 개발하였다.

- 농업용 가뭄지수 및 토양수분지수 적용을 위해 중장기 기상예측자료는 매월 초 월 1회 정기적으로 제공하며, 요구에 따라 일 1회 제공까지 가능하다.
- 1차년도 개발한 CFSv2-AlphaMet 생산 시스템 체계에서 편의보정 자료 생산 모듈, 리빙랩 서버 자동 전송 모듈을 추가 개발하여 시스템 구축 완료되었다.

4) 장기 고해상도 기후예측자료 예측성 평가 및 영향예보 연계 모듈 개발

- APCC 장기예측자료의 예측성 평가

- 전북지역에 대해 구축된 SForecast 기반 장기예측 자료의 예측성 평가는 선행예측기간 (Lead-Time: LT)별 실제 월평균 강수/기온 값이 높을 때 높게 예측하고 낮을 때 낮게 예측하는 지를 살펴 보기 위해 Temporal Correlation Coefficient (TCC)를 중심으로 살펴 보았다.



<SForecast 전라북도 지역 평균 강수 및 기온의 월별 선행예측 기간별 예측성(TCC) 결과(기간: 1983-2009)>

- NMME 장기예측자료의 예측성 평가

- SForecast 예측성 평가는 전북지역 평균 강수/기온에 대한 예측성을 평가한 반면, NMME 예측성 평가는 농촌경제연구원의 주산지 단위의 생육예측 모형에의 활용 등 필지 단위에서의 수요를 반영하기 위해 1km 격자별 예측성을 평가하는 것이 필요하며, NMME 예측자료 제공 기간의 1km 해상도 격자별 예측결과와 동일해상도의 IGISRM 자

료를 이용하여 예측성을 평가하였다. (평가 모듈 개발 중)

- 가뭄 및 폭염 관련 맞춤형 예측정보 생산

- 리빙랩 기반의 농업인 및 기관 참여 기반 실증모델 구축을 위해서 가뭄에 의한 농업용수 관리 등 가뭄 관련 활용을 위해서 기상학적 가뭄지수 중에서 가뭄의 지속 기간에 상관없이 가뭄 상황을 파악하는데 안정적인 것으로 알려진 Effective Drought Index (EDI)를 선정하였다.
- 월단위 장기 강우 예측자료를 이용하여 EDI기반 가뭄예측은 아래와 같은 절차로 수행된다. (그림 참조)

⑤ 가뭄지수(EDI) 계산

- 월초(9일) ERA5 한반도 시간단위 자료 수집
- ERA5 최신 자료와 한반도 1km 고해상도 자료 사이의 회귀모형을 이용하여 전월까지의 격자기반 강수량 자료 생산(월단위)
- 전월까지의 월단위 과거기간 강수 자료와 편이보정된 월단위 예측 강수 자료를 이용한 격자별 월단위 Effective Drought Index (EDI) 자료 생산

⑥ 가뭄(EDI) 예측

- 예측 대상 월별 격자별 EDI 예측값을 이용한 대상지역에 대한 EDI 예측 지도 생산
- 5개 예측 모형으로부터 EDI 가뭄 정의표에 해당되는 확률 계산 (4개 구간 사용: 표 참조)
- 예측기간에 대한 격자별 확률값을 이용하여 가뭄 확률예보 지도 생산

EDI	Drought conditions	Category
$EDI \geq 2.0$	Extremely wet	No Drought
$1.5 \leq EDI < 2.0$	Severely wet	
$1.0 \leq EDI < 1.5$	Moderately wet	
$-1.0 < EDI < 1.0$	Near normal	
$-1.5 < EDI \leq -1.0$	Moderately Dry (MD)	MD
$-2.0 < EDI \leq -1.5$	Severely Dry (SD)	SD
$EDI \leq -2.0$	Extremely Dry (ED)	ED

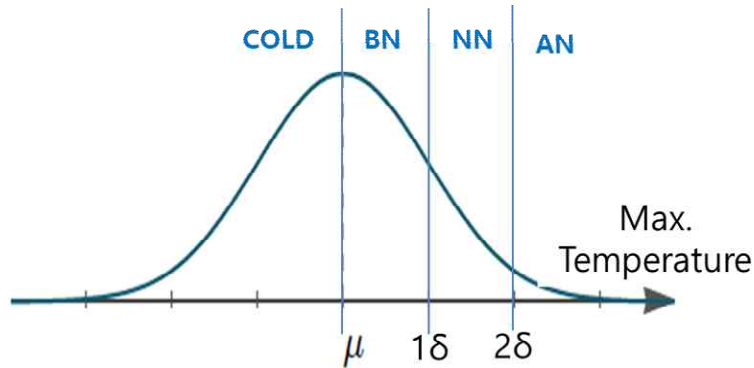
- 폭염에 의한 가축 스트레스 및 폭염에 의한 농작물 피해 등 폭염 관련 맞춤형 예측정보 생산을 위해 폭염지수 예측 자료를 생산하였다. 폭염 예측은 월단위 예측자료로는 불가능하여 월단위 예측자료를 시간단위로 상세화한 후 폭염관련 지수를 생산하였다.

⑦ 시간 상세화

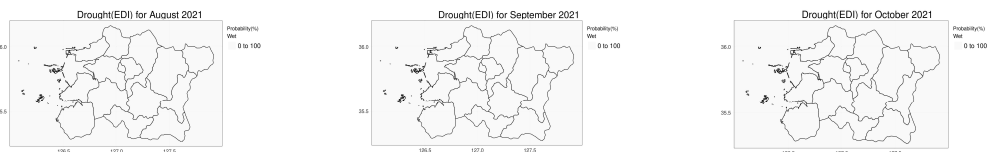
- 1 km 과거DB와 예측된 상세화 자료의 공간상관분석(Spatial Patter Correlation Analysis)을 통한 best-fit 샘플링 연/월 선정 (강수량 및 기온의 공간상관성 평균 이용)
- 실제 예측자료와 샘플링을 위해 선정된 과거자료와의 격자별 비교를 통한 차이 보정(강수량: 비율, 기온: 차이로 보정)

⑧ Heat Stress 예측

- Historical 기간에 해당되는 일단위 최고기온의 관측자료를 이용하여 격자별 4개 구간 정의(평균이하: Cold, 평균~1표준편차: Below Normal, 1표준편차~2표준편차: Near Normal, 2표준편차 이상: Above Normal)
- 5개 모형의 일단위로 상세화된 최고기온의 상세 예측자료를 이용한 폭염지수 구간별 확률값 계산하였다.
- 격자별 계산된 확률값을 이용하여 폭염지수의 확률예보 지도 작성하였다.



- 그림은 EDI 및 폭염지수의 9개월 전망 예시를 보여주며, 8월~9월 3개월 기간 중 가뭄 및 폭염 모두 문제가 되지 않는 것으로 예측된다.



<NMME 3개월 선행 EDI 예측 결과 (예측시점: 2021년 8월)>

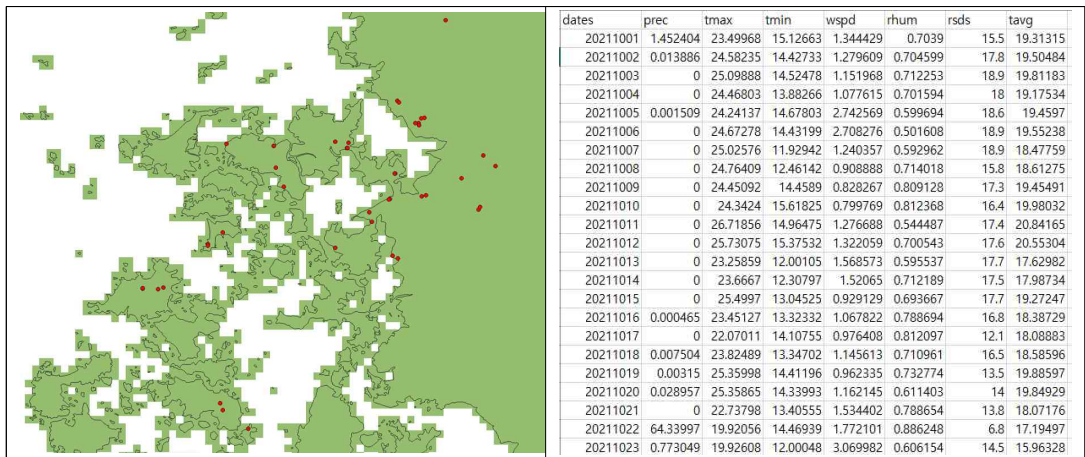


<NMME 3개월 선행 폭염지수 예측 결과 (예측시점: 2021년 8월)>

- 그림은 EDI 및 폭염지수의 9개월 전망 예시를 보여주며, 8월~9월 3개월 기간 중 가뭄 및 폭염 모두 문제가 되지 않는 것으로 예측된다.
- 장기에측 자료를 활용하여 농업용수의 가뭄 취약성 정보 제공 등을 위한 기후노출 (Climate Exposure) 항목으로 활용하였다.
- 구축된 강수, 기온, 가뭄, 폭염 예측정보를 기반으로 사용자 활용 목적에 따라서 선행예측기간(최소 몇 개월 전에 예측정보가 필요한가?), 예측대상 기간(필요한 시작월과 이후 몇 개월의 예측정보가 필요한가?), 예측정보의 활용 형태(기상자료를 직접적으로 활용할 지 아니면 가뭄지수 등과 같이 추가적인 가공이 필요한지) 등 설문조사 수행하였다(예정: 농업인, 전라북도 농업정책과, 전북도농업기술원, 농촌경제연구원, 한국농어촌공사 등)

- 모델링 기반 영향 평가를 위한 상세화 자료 제공

- 농촌경제연구원의 양파 및 마늘 생산 농가(각 100개 농가)에 대한 생산량 예측을 위해 일단위(daily) 6개월 예측자료를 생산 제공하였다.
- 농가의 위치가 해안가에 위치하는 경우 1km 해상도 격자에서 누락되는 경우가 발생하여 모든 해안가 농경지가 모두 포함될 수 있도록 1km 격자망 재조정하였다.
- 모델링을 위해 강수 및 기온 이외의 기상 변수 요청에 따라 풍속(wspd), 일사량(rsds), 상대습도(rhum) 등 추가 변수 추가하였다.



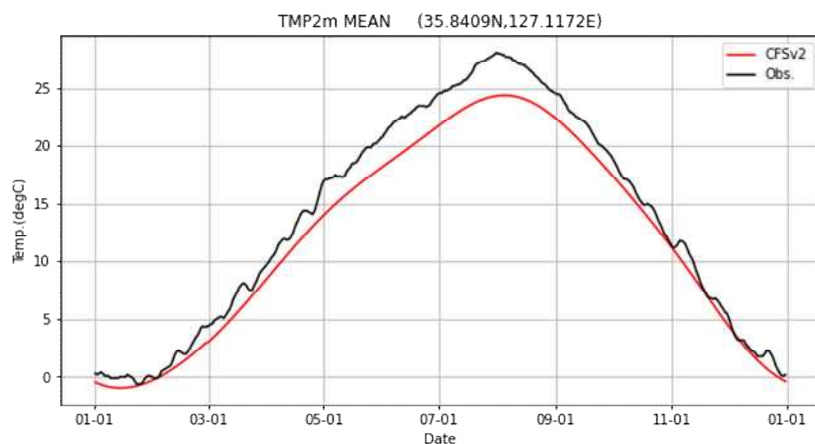
<도서지역 농가 대상 정보제공을 위한 1km 격자망 재조정 및 제공 상세화 정보 (2021년 10월 예측정보 예시)>

○ 중장기 고해상도 기상예측자료 성능 평가 및 영향예보 연계 모듈 개발

1) 중장기 고해상도 기상예측모델 편차 분석

- CFSv2 기반 고해상도 중기 기온예측자료 정확도 개선을 위한 bias correction 수행

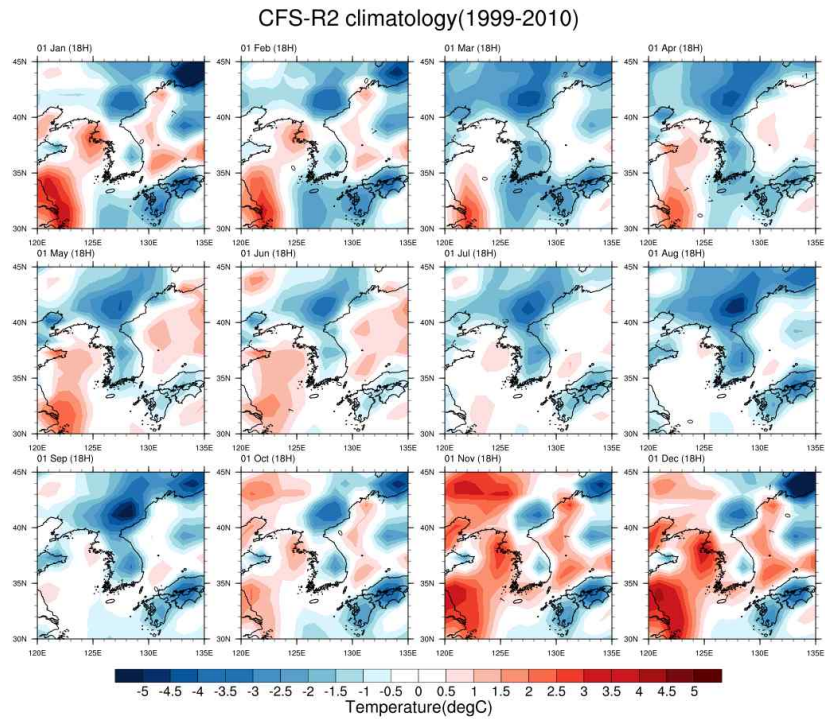
- 전북(AWS 전주지점) 연간 2m 기온을 CFSv2 모델 기후값과 비교하면 여름철에 모델 기후값이 실제 기온보다 낮게 나타났다.



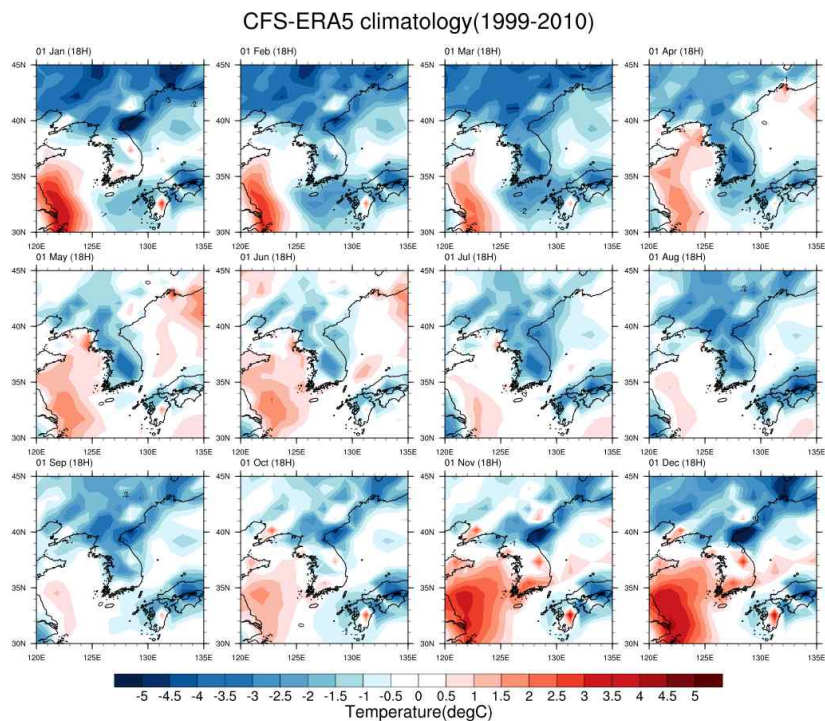
<1999-2010년 2m 기온 관측(AWS) 및 CFSv2 모델 기후값>

- 관측 기후데이터 기준으로 CFSv2 모델의 14-45일 mean bias를 계산했다(Maraun, 2016).
- 관측 기후데이터는 NCEP/DOE Reanalysis II³⁾ 및 ECMWF ERA5⁴⁾ 자료를 사용하였다.

- CFSv2 모델 14-45일 기온 mean bias는 한반도에서 음의 값으로, CFSv2 모델은 실제보다 기온을 낮게 모의하는 구조적 오차(systematic error)를 가진다고 해석하였다.



<NCEP/DOE Reanalysis II (R2) 기후값에 대한 CFSv2 모델 기온 mean bias>



<ECMWF ERA5 재분석자료 기후값에 대한 CFSv2 모델 기온 mean bias>

- 특히 여름철에 기온 과소모의 경향이 뚜렷하여 폭염 기간의 기온 편의분석 수행하였다.

3) reference: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>

4) reference: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>

- 관측 데이터를 참으로 가정하여 구한 모델 mean bias를 모델의 예측값에서 빼주어 모델의 systematic error를 제거하였다.

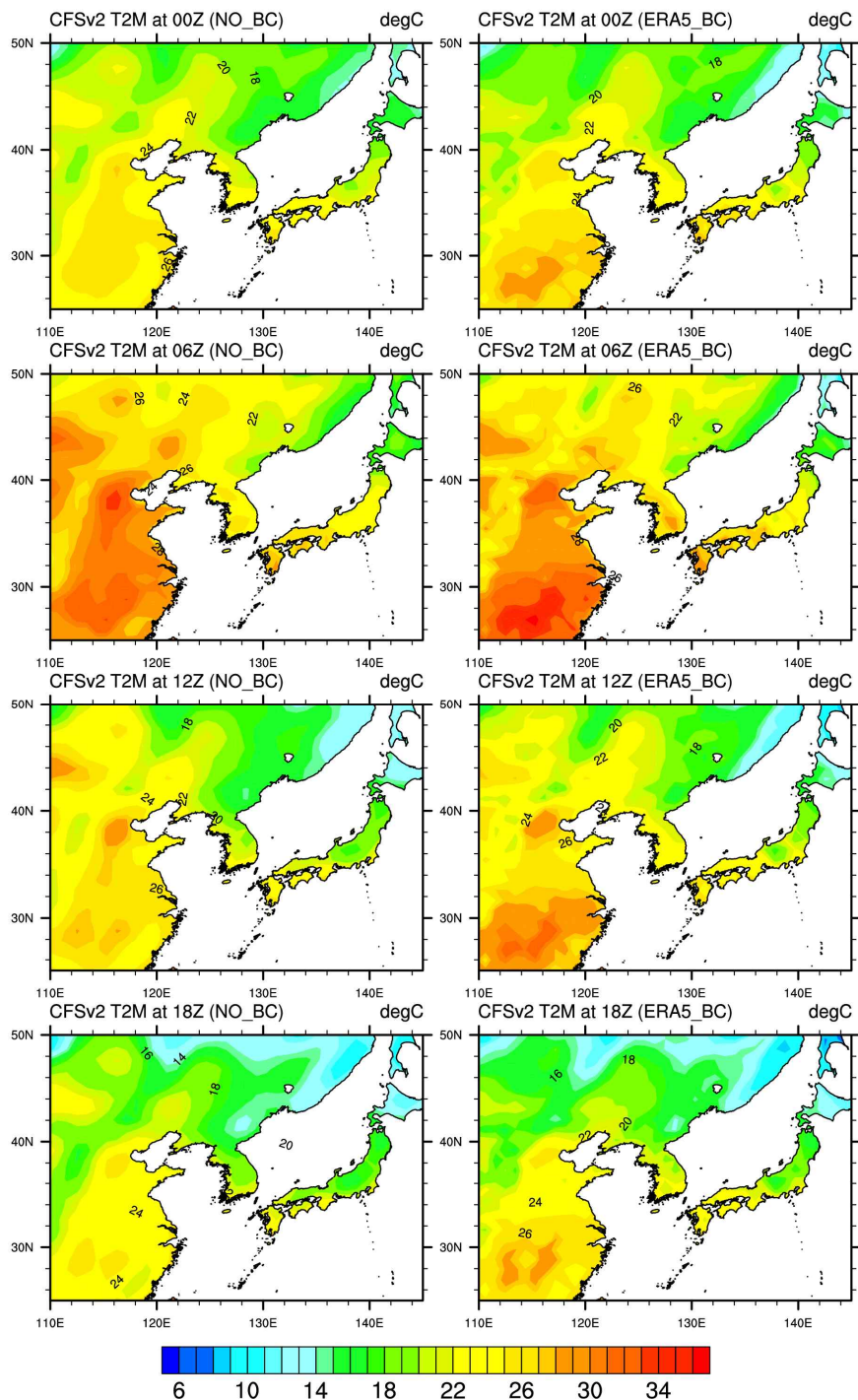
$$x_{i,corr}^f = x_{i,raw}^f - \widehat{Bias}(\mu^p) = x_{i,raw}^f - (\overline{x_i^p} - \overline{y_i^p})$$

$x_{i,corr}^f$: bias corrected future time series

$x_{i,raw}^f$: simulated future time series

$\overline{x_i^p}$: the mean of uncorrected model over a chosen present period

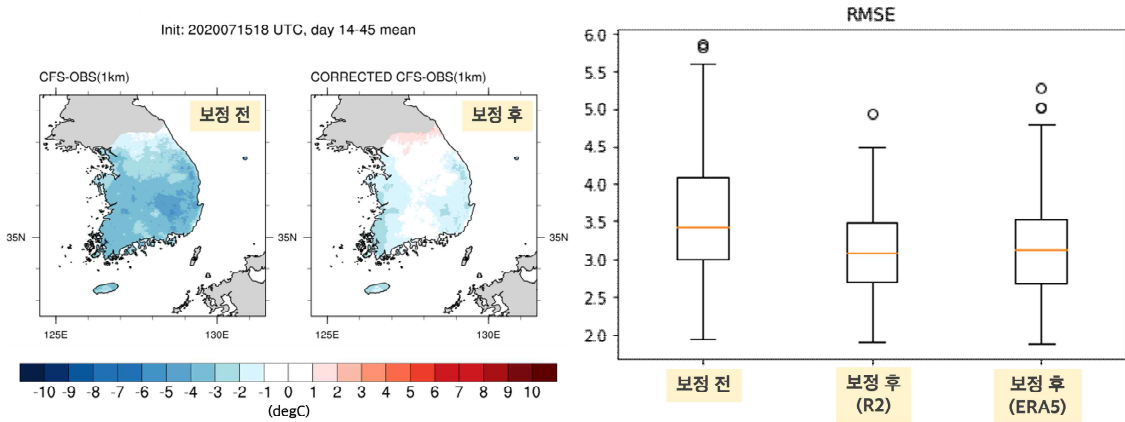
$\overline{y_i^p}$: the corresponding real mean



<CFSv2 2m 기온의 systematic error 제거 전(좌) 후(우) 비교>

- 농작물 생육에 영향을 미치는 여름철(6-8월) 예측 보정 및 검증 수행 결과는 다음과 같다.

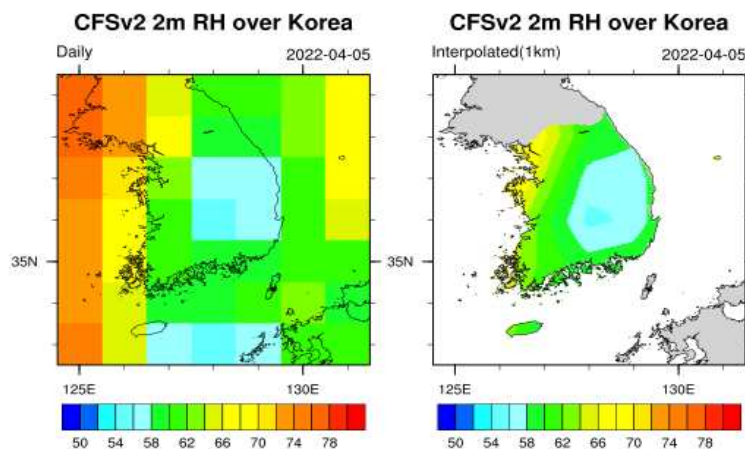
- 검증기간: 2018-2020년 6, 7, 8월
- 검증지점: 전국 ASOS 13개 지점 및 전북지역 ASOS 10개 지점
- 검증방법: CFSv2 모델의 bias correction 전후 데이터를 모두 AlphaMet 모형으로 상세화(1km) 후 관측데이터와 평균제곱근오차(Root Mean Squared Error, RMSE) 비교
- 기후예측모델 특성인 systematic error를 보정하여 관측 대비 CFSv2 모형의 중기에측 기온 과소모의 경향 개선하였다.
- 전국 13개 ASOS 지점 대상 검증결과, 보정하기 전의 CFSv2 현업 자료를 1km 로 상세화하는 것보다 보정한 후 상세화한 경우에 2m 기온의 RMSE가 평균 16.7% 감소하였다.
- 전북지역 10개 ASOS 지점에 대해서는 CFSv2 자료 bias correction 후 기온 RMSE가 11% 감소하였다.
- 농작물 생육에 큰 영향을 미치는 여름철 폭염 기간에, 모델이 가지는 시스템적 오차를 correction하여 14~45일 중기에측자료 정확도를 향상시킬 수 있었다.



<CFSv2 보정 전, 후 AlphaMet 상세화 기온과 실제 관측 기온의 차이> <CFSv2 bias correction 전후 검증사례의 RMSE 분포>

2) 고해상도 상대습도 중기에측정보 생산모듈 개발

- 거리 가중치를 이용한 선형 보간방법(bilinear interpolation)으로 1km 해상도 상대습도 데이터 생산 및 서비스된다.



<CFSv2 기반 고해상도(1km) 상대습도 자료 생산>

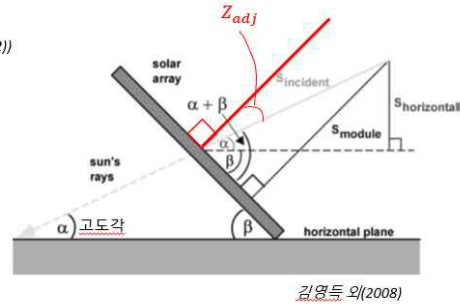
3) 고해상도 일사량 중기에측정보 생산모듈 개발

- 상세 지형효과를 반영하여 CFSv2 일사량 자료를 1km 해상도로 상세화하는 모듈 개발하였다.

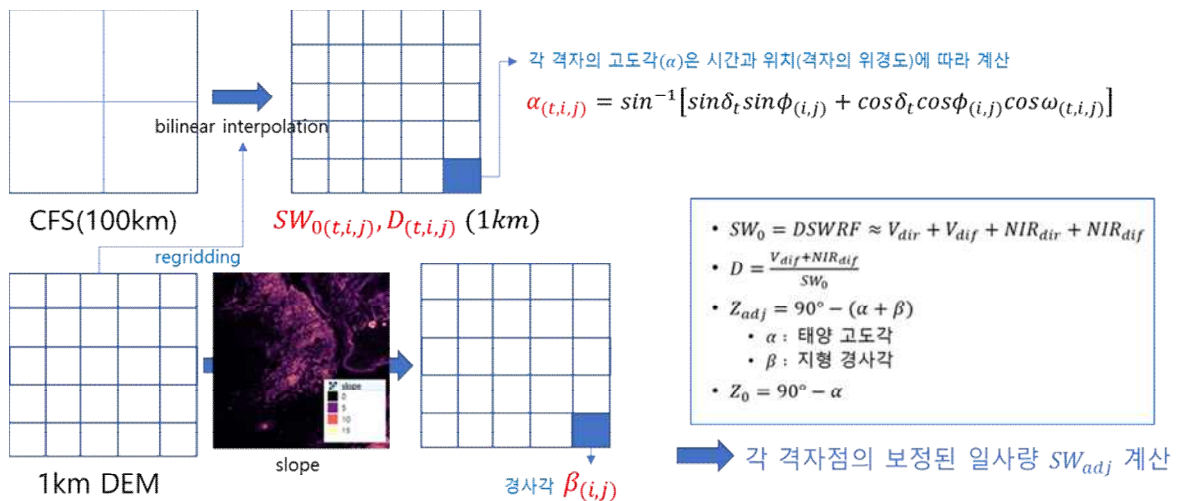
- 그림자/경사 모수화 방법(Shadow/Slope Parameterization): 평평한 지형을 가정하여 일사량을 계산하는 모델 데이터에 지형효과를 반영하는 방법
- CFSv2 직달, 산란일사 데이터와 1km DEM 고도각을 그림자/경사 모수화수식에 적용

$$SW_{adj} = \left[D + (1 - D) \frac{\cos(Z_{adj})}{\cos(Z_0)} \right] SW_0 \quad (\text{Garnier and Ohmura(1968); Zangl(2002)})$$

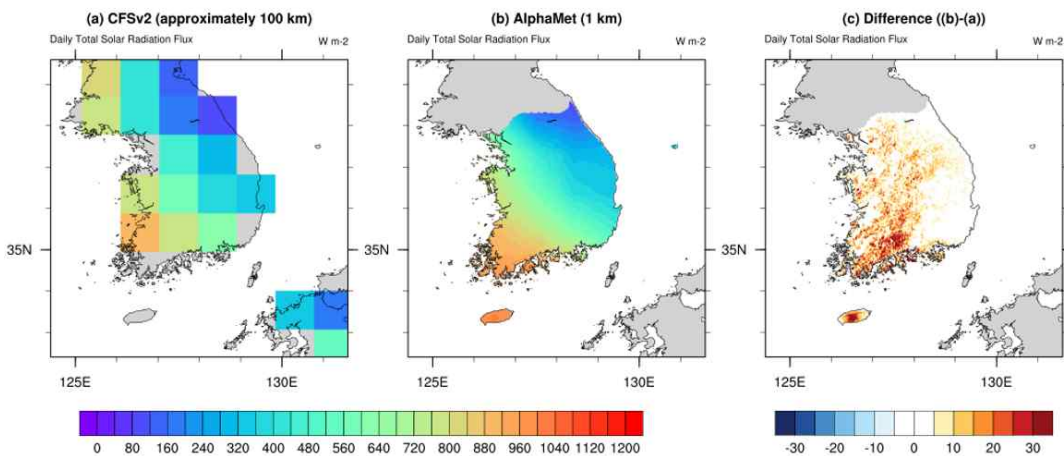
- SW_{adj} : 지형효과에 의해 보정된 태양복사
- D : 확산되는 SW_0 의 비율
- Z_{adj} : 지형의 법선 벡터에 대한 태양천정각
 - $Z_{adj} = 90^\circ - (\alpha + \beta)$
- Z_0 : 평평한 지형을 가정한 태양천정각
- SW_0 : 모델 격자점의 직접 및 확산 성분의 하향태양복사플럭스



<그림자/경사 모수화 방법>



<일사량 상세화 모듈 계산과정 모식도>



<CFSv2((a), (b))와 일사량 상세화 모듈로 계산한 일주적일사량(c) 예측>

4) 수요자 활용을 위한 중기예측 데이터 후처리 과정 개발

- 6시간 간격으로 산출되는 CFSv2-AlphaMet 1km 데이터를 일자료로 계산 후 NetCDF4 포맷 저장하는 후처리 과정 개발하였다.

<고해상도 중기예측 데이터 변수별 속성>

Variable name	Long name	Standard name	Dimension	Unit	Level	Type	FillValue
lat	-	latitude	840	degrees_north	-	float	-
lon	-	longitude	840	degrees_east	-	float	-
time	-	time	UNLIMITED	hours since 1981-01-01 00:00:00	-	double	-
TMP2	air temperature at 2 meters	air temperature	(time,lat,lon)	degree_Celsius	2m	float	9.96921e+36f
RAIN	total rainfall amount	rainfall amount	(time,lat,lon)	mm	Surface	float	9.96921e+36f
U10	u-component at 10 meters	eastward_wind	(time,lat,lon)	m s ⁻¹	10m	float	9.96921e+36f
V10	v-component at 10 meters	northward_wind	(time,lat,lon)	m s ⁻¹	10m	float	9.96921e+36f
WS10	wind speed at 10 meters	wind speed	(time,lat,lon)	m s ⁻¹	10m	float	9.96921e+36f
TAVG	daily averaged air temperature at 2 meters	air temperature	(time,lat,lon)	degree_Celsius	2m	float	9.96921e+36f
TMIN	daily minimum temperature at 2 meters	air temperature	(time,lat,lon)	degree_Celsius	2m	float	9.96921e+36f
TMAX	daily maximum temperature at 2 meters	air temperature	(time,lat,lon)	degree_Celsius	2m	float	9.96921e+36f

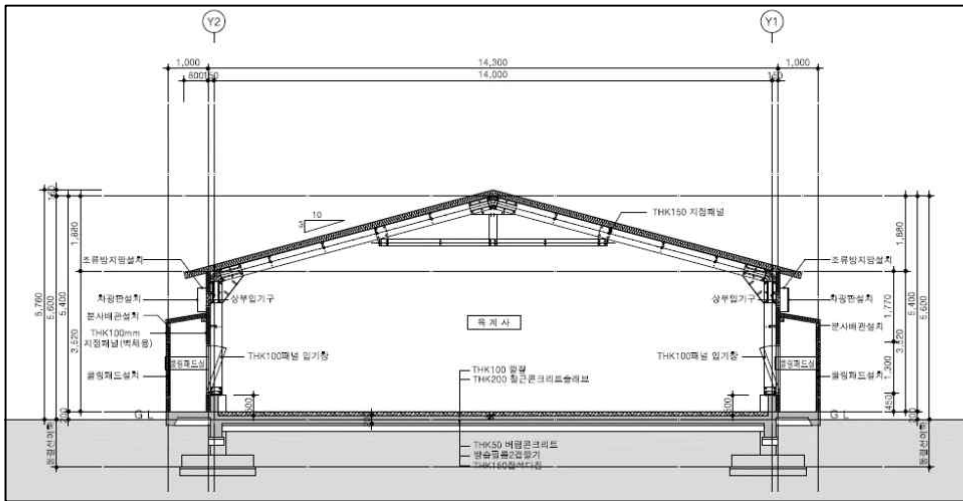
나. 가축의 고온스트레스 평가 모델의 개발 및 정확도 검증

○ 개별 모듈의 에너지 흐름 분석 및 연계를 통한 동적수치해석 모델 개발

1) 육계사 동적 수치해석 모델 개발

- 에너지 평형방정식 기초 대상시설 모델 개발

- 가축 고온스트레스 분석을 위한 동적수치해석 개별 모듈 모델 개발을 위한 연구 대상시설로 2016년 농림축산식품부에서 발간한 축산 표준설계도 중 육계사를 대상으로 하였다. 해당 시설의 크기는 폭이 14.3m, 측고 3.3m, 동고 5.4m, 총 길이 114.0m 중 입구 측 전실 3m 를 제외한 111.0m의 길이가 사육공간에 해당하며 무창계사로 기계환기 방식을 적용하였다. 육계사 표준설계도(MAFRA, 2016)는 육계사의 바닥면은 150mm 잡석 다짐 위에 방습필름을 2겹으로 설치하고 그 위에 50mm 버림콘크리트와 200mm 철근 콘크리트 슬래브를 시공할 것을 제시하고 있다. 지붕면과 벽면에는 각각 150mm, 100mm 샌드위치 패널을, 입기 창에 지붕 경사도는 3/10를 제시한다. 표준설계도에 고시된 육계사 시공법을 기준으로 연구에서 이용될 육계사 해석 모델을 설계하였으며, 입력자료로 이용된 자재 물성치는 다음과 같다.



<농림부에서 발간한 육계사 표준설계도>

<육계사에서의 입력되는 물성치>

재료	열전도도 (kJ/hmK)	열용량 (kJ/kgK)	밀도 (kg/m3)
Sandwich panel (100T)	0.1368	1.5	100
Sandwich panel (150T)	0.1404	1.5	73.33
Reinforced concrete	7.92	0.84	2,800
Concrete	6.3	0.84	2,000
Gravel	7.2	1.0	1,800
Polyethylene film	0.8792	2.3037	0.96

- 축사 내부에서 육계의 현잠열 에너지 발생량 모듈 개발

- 고온스트레스 대응이 수동적인 닭에 대하여 에너지 발생량을 모의하고 경계조건으로 반영하는 것이 필요하다. 선행연구를 통하여 닭의 주변 환경, 체중, 사료 효율 등에 따른 현열 및 잠열 발생량 경험식 제시되어 있다. 육계에서 발생하는 현열과 수증기량은 Perderson and Sallvik (2002)이 제시한 육계의 현열과 잠열량을 반영하였으며, 닭의 무

계 m 을 계산하기 위해 일령별 닭의 체중은 Yoo (2009)가 제시한 경험식인 식(1)을 활용하였다. Perderson and Salvik (2002)은 닭으로부터의 1,000W의 단위 에너지가 발생했을 때 온도 변화에 따른 닭으로부터의 전체 에너지 발생량에 대한 보정식을 식(2)와 같이 제시하였다. \dot{Q}_{sen} 와 \dot{Q}_{lat} 의 식 (2, 3) 각각은 현열 및 잠열 발생량을 의미한다.

$$m = 1.1678 \times d^2 + 11.137 \times d + 35.753 \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{tot}(W/head) = \frac{1}{1000} \times 10.62 \times m^{0.75} \times [1000 + 200 \times (20 - T)] \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{sen}(W/head) = \frac{1}{1000} \times 10.62 \times m^{0.75} \times \{0.61 \times [1000 + 200 \times (20 - T)] - 0.228 \times T^2\} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{lat} = \dot{Q}_{tot} - \dot{Q}_{sen} \quad (4)$$

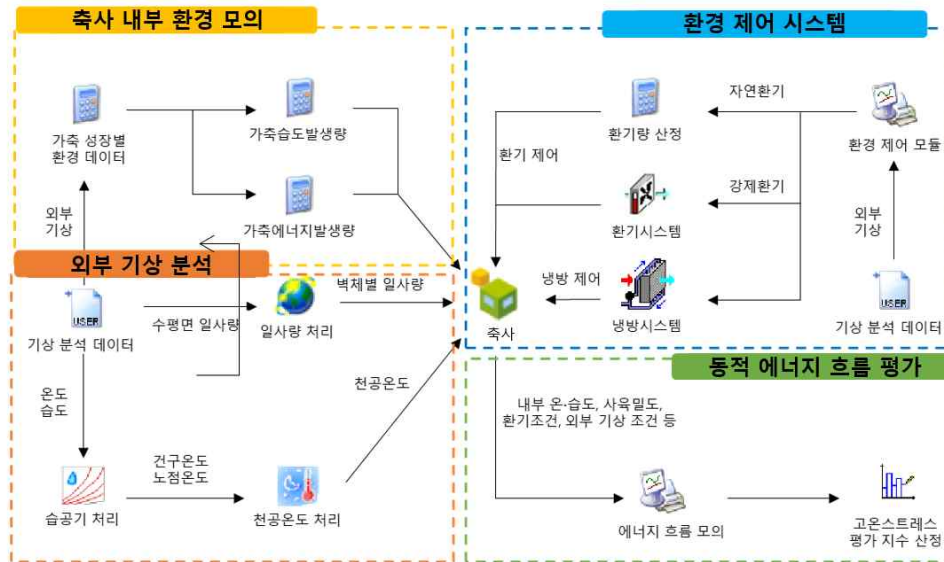
$$\omega_a = (\dot{Q}_{tot} - \dot{Q}_{sen}) / \lambda \quad (5)$$

- 여기서, q_{tot} is the total amount of heat generated by broilers (kcal/hr·head), q_s is the sensible heat generated by broilers (kcal/hr·head), m is broiler weight (kg), t_i is the broiler house air temperature (°C), ω_a is the moisture generation (kg·kg/da·hr·head), λ is the latent heat of evaporation of water (kcal/kg)
- 또한 가금류에서의 열량은 대류열과 복사열 손실의 합으로 계산되고 이는 계군 주변의 공기 온도와 주변의 유속을 변화시키게 되며 그 중 대류에 의한 열손실량 값은 다음과 같다(Xinjie Tong et al., 2018) 또한 깔짚 등 바닥재 관리에 따라 발생하는 수분량에 대한 에너지 교환이 달라지는데, 이에 대한 영향을 고려할 필요가 있다 (Dunlop et al., 2015; Lee et al., 2019)

$$C = \frac{\rho c_p}{r_a} (T_c - T_a) \quad (6)$$

2) 가축 고온스트레스 모델의 연계 모듈 개발

- 극한 상황에 대한 케이스 별로 고온스트레스를 분석하여 개별 모듈의 각 환경 인자들을 설계하고 결과를 분석하였다. 고려 인자로는 축사 형태와 환기구조, 사육 밀도, 단열재 종류, 냉방 장치 사용 유무 등이 있다. 고려 인자를 정한 기준은 현장실험을 통하여 계사 내부 환경에 영향을 많이 주는 인자로만 제시하였고 사용자가 리빙랩 웹서비스에 가입시 다음과 같은 농장 정보를 입력하도록 설계하였다. 연산 단계별로 공기유동을 구현하기 위해 동적 에너지 모델에서 해석 가능한 모듈을 도입하여 연동하였고 축사 내부의 동적 에너지 흐름을 수치적으로 연산하고 고온스트레스를 평가하는 방법은 아래 그림과 같다. 모듈 기반 모델링 기법으로 모듈간 상호작용 분석이 가능하고 타 시설에 적용이 용이하여 다음과 같이 설계하였다.
- 또한 예경보 시스템 정보 제공을 위하여 소프트웨어 라이선스 문제 해결이 필요하였다. 오픈소스 소프트웨어를 이용하여 변화하는 기상예측 자료에 대해 연산하고 결과물을 웹 서비스에 표출할 수 있도록 유연성을 확장하였다. 주로 건축 분야에서 건물에너지의 종합적 성능분석에 사용되는 Energyplus 프로그램으로 모델을 재개발하였다. 이는 공조 및 냉난방 설비를 상세하게 고려하여 신뢰도가 높으나 텍스트 기반으로 모델을 구축하므로 모델 설계가 까다로운 편이다. 그러나 타 프로그램과 연동이 유용한 특징을 가지므로 웹 서비스화 이용에 적합하여 다음 소프트웨어를 사용하였다.



<모듈 연동을 통한 동적수치해석 모델 설계 흐름도>

<ul style="list-style-type: none"> Sub-module 1. 외부와 축사 벽체의 열교환 & 환기에 따른 에너지 분석 모듈
<ul style="list-style-type: none"> - 외부 기상자료 : 현장 실측 및 기상청 제공 자료 활용 (전라도 지역) - 육계사 구조적 특징 : 규모, 벽체 특성, 단열재 물성치 등 입력 - 강제환기식 육계사의 환기량 : 배기팬 유량 현장 모니터링 측정 결과 적용
<ul style="list-style-type: none"> Sub-module 2. 육계의 열교환에 따른 에너지 분석 모듈
<ul style="list-style-type: none"> - 육계의 현열·잠열에 따른 에너지 교환 고려 (CIGR, 2002) - 육계의 성장 곡선에 따른 열량 고려 (Perdersen and Sallvik, 2002)
<ul style="list-style-type: none"> Sub-module 3. 바닥재의 수분발생량에 따른 에너지 교환 모듈
<ul style="list-style-type: none"> - 환경 데이터 (내부 온-습도, 함수비, 풍속)를 통해 바닥재의 수분 발생량 산정식 고려 - 주변 온-습도, 풍속, 함수비의 따른 실시간 열교환 고려 (Dunlop et al., 2015; Lee et al., 2019)
<ul style="list-style-type: none"> 가축고온스트레스 평가 모델의 신뢰도 제고 및 최적화
<ul style="list-style-type: none"> - 계사 내부 구역별 온도, 습도 및 풍속 내부환경 정확도 향상 노력

<개별 모듈 연계를 통한 동적수치해석 모델 개발 단계>

○ 실시간 기상자료 기반 가축 고온스트레스 평가 모델의 개발 및 정확도 검증

1) 현장실험 데이터 기반 모델 신뢰도 분석

- 통계지표 활용한 정량적 검증 수행

- 시뮬레이션 모델의 정확도를 판단하기 위하여 실제 데이터와의 오차 지표로써 MBE (Mean Bias Error)와 CV(RMSE) (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error)를 사용하였다. MBE는 측정 자료와 비교하여 에너지 소비량이 얼마나 잘 모델에 의하여 예측되는 가를 나타내는 통계적 지표이다. Cv(RMSE)는 RMSE의 상대적인 일탈

도를 백분율로 나타내며, 계수가 작을수록 평균치에 가까이 분포함을 의미한다. 두 개의 오차 지표의 값이 작을수록 검증이 잘 되었다고 판단하였다.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)(C_i - \bar{C}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2 \times \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C}_i)^2}} \right)^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - C_i)^2}{n}} \quad (6)$$

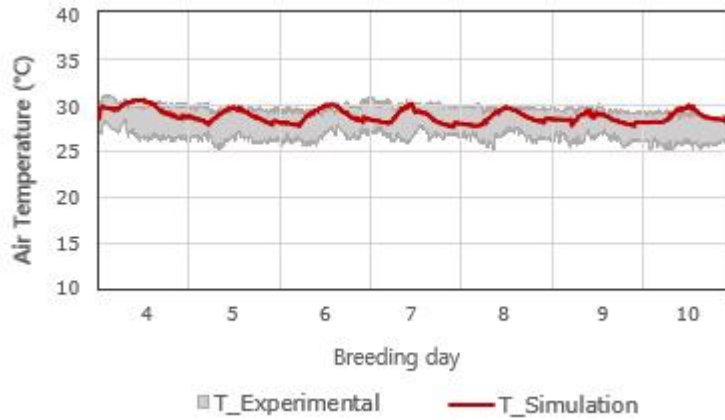
$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{R_i - C_i}{R_i} \right| \quad (7)$$

- 여기서, R^2 is coefficient of determination, $RMSE$ is root mean square error (°C, %), $MAPE$ is mean absolute percentage error (%), n is total number of data according to time, R_i is values of measured data at specific time, \bar{R}_i is average of the measured data at specific time, C_i is values of simulated data at specific time, \bar{C}_i is average of the simulated data at a specific time

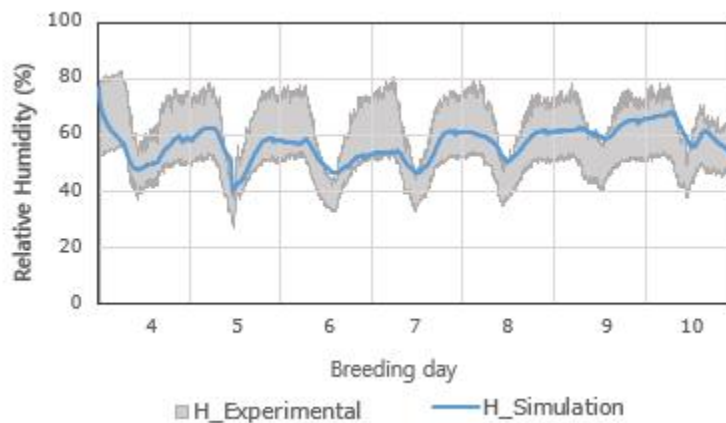
2) 가축 고온스트레스 평가 모델 정확도 검증

- 계사 내부 공기 온습도 환경데이터 검증 결과 분석

- 검증 기간은 10월 4일부터 10일까지로 약 7일간 현장 실험 데이터를 사용하여 연산 값과 비교하였다. 현장 실험 값은 5분 평균 값을 사용하였으며, 에너지 시뮬레이션의 연산 인터벌은 역시 5분으로 설정하였다. 에너지 해석 기법 분석 중 에너지 해석 연산 time step을 5분이나 10분으로 할 경우가 가장 권고된다고 나와있다. (Energyplus, Big ladder) 이는 가동하는 설비나 내부 발열로 인한 에너지 흐름의 변화가 한 시간 기준은 실제보다 너무 길고 1분 간격은 너무 연산 시간이 많이 걸리므로 이에 대한 걱정 수준이 5분 및 10분으로 보인다. 현장 실험 데이터의 축사 구역별 내부 공기 온습도의 최저, 평균, 최대값을 측정된 결과와 연산시 축사 내부 공기 평균 온도를 비교한 결과는 아래 그래프와 같다. 검증 결과 계사 내부 공기 온도 및 습도의 모델 오차율은 약 10% 이내로 보이며, 온도보다 습도가 오차율이 큰 이유는 습도의 경우 절대습이 아닌 상대습으로 계사 내부의 공기 온도 외에 여러 변수에 의해 쉽게 변화할 수 있는 값이기 때문이며 측정 값 역시 최대 최소값의 편차가 20% RH 이상 차이난다. 미국냉동공조학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; ASHRAE)에서 에너지 분석 모델의 오차율을 신뢰도가 있는 기준을 M&V Guildline에서 제시하고 있다. 이 문서에 의하면 RMSE가 절대값 기준으로 30% 이내 일 경우 모델의 신뢰도가 높아 이용하기에 적합한 모델이라 명시되어 있다. 미국냉동공조학회 기준으로 하였을 경우 현재 가축 고온스트레스 평가 모델은 정확도를 검증하였다 볼 수 있다. 좀 더 모델의 정확도를 높이기 위하여 축사 바닥으로 열을 주고 받는 지중 온도와 환기 및 침기량에 대하여 실제와 유사하게 모델링에 반영하였다.



(a) 현장 실험 데이터와 비교한 계사 내부 온도 연산값



(b) 현장 실험 데이터와 비교한 계사 내부 습도 연산값

<에너지 모델 검증을 위한 일령에 따른 내부 온습도 비교>

<에너지 모델 검증을 위한 내부 온습도 인자별 통계적 분석>

Indoor Air Temperature			Indoor Relative humidity		
R2	RMSE(°C)	MAPE(%)	R2	RMSE(%)	MAPE(%)
0.94	1.55	4.66	0.89	6.16	6.69

○ 동적수치해석 모델 해석 결과 기반 고온스트레스 지표 적용

1) 가축의 고온스트레스 지수 산정

- 육계사 내부 환경인자별 고온스트레스 지수 분석

- R.S. Gates 등 (1995)은 DeShazer and Beck(1988)이 고안한 고온 스트레스 지수(*THI*)를 이용하였다. $THI = 0.6t_{db} + 0.4t_{wb}$ (t_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), t_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) 실험 대상은 육계이며 미국의 지역, 물 분무 여부에 따라 *THI*를 분석하였다. 모델은 현열과 잠열을 이용하여 설정하였고, 물 분무시에는 증발열을 추가적으로 계산하였다. 데이터는 시계열 데이터로 날씨 데이터 중 상위 1%의 극한 날씨에 대한 분석도 따로 진행하였다. 미국의 전 지역별 *THI*를 외기 기준, 분무 여부, 극한 날씨에 따라 그래프로 나타내었으며 단순 비교 분석한 결과를 결론으로 하였다.
- X. Tao 등 (2003)은 *THI*와 *THVI*(temperature-humidity-velocity index)를 고안하였다.

$THI = 0.85t_{db} + 0.15t_{wb}$, $THVI = (0.85t_{db} + 0.15t_{wb}) \times V^{-0.058}$ ($0.2 \leq V \leq 1.2$) (t_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), t_{wb} : 계사 내부의 이슬점온도(°C), V : 계사 내부의 풍속(m/s)) 실험 대상은 Market size의 육계이며 육계의 향상성에 대한 온도, 습도, 풍속의 상대적 중요성을 평가해 THI 와 $THVI$ 를 도출하였다. 실험은 총 18가지 환경조건으로 건구온도(35°C, 38°C, 41°C), 이슬점온도(19.4°C, 26.1°C), 풍속(0.2m/s, 0.7m/s, 1.2m/s)에서 육계의 체온 상승 정도를 기준으로 분석하였다. 이를 바탕으로 체온 상승(Δt_b , °C)에 따른 닭 상태를 구분한 결과, 보통(1.0°C), 경각(2.5°C), 위험(4.0°C), 응급(4.0°C 이상)으로 나타났다.

- H.J. Chepete 등(2005)은 주령에 따른 육계의 $THIs$ (temperature humidity indices)를 연구했다. $THI_{3 \sim 4wk} = 0.62T_{db} + 0.38T_{wb}$, $THI_{5 \sim 6wk} = 0.71T_{db} + 0.29T_{wb}$ (T_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), T_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C))로 나타났다. 실험은 3개의 비단열 자연 환기 시설에서 1700마리의 육계를 대상으로 6주간 진행되었다. $THIs$ 산정은 Brown-Brandl 등 (1997)의 $Y = C_0 + C_1T_{db} + C_2T_{wb}$ (Y : daily feed intake, body mass gain, mortality - $THIs$ 산정을 위한 독립변수)와 Xin 등 (1992)의 $THI = \frac{C_1}{C_1 + C_2}T_{db} + \frac{C_2}{C_1 + C_2}T_{wb}$ 를 이용하였다. $THIs$ 를 산정하는 과정에서 사료 섭취량, 평균 체질량 및 사망률을 분석하였고 3~4 주령에서의 $THIs$ 와 5~6주령에서의 $THIs$ 를 산정하였다.
- Moraes 등 (2008)은 Buffington 등 (1982)이 고안한 THI 를 이용하였다. $THI = 0.8T_{db} + RH(T_{db} - 14.3)/100 + 46.3$ (T_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), T_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) THI 를 브라질 지역적 특성과 육계의 상태에 따라 범주를 나누었다. THI 에 따른 분석 결과, THI 가 72 이하일 때, 계사는 환경에 적절하고 육계 상태는 온전한 것으로 나타났다. THI 가 73에서 76일 때, 부분적 환경 보정이 필요하고 약간 불편한 상태이고, 77에서 80일 때, 환경 보정으로 인해 제한되고 불편한 상태이며, 81에서 84일 때, 여러 환경 보정으로 인한 제한되고 심하게 불편한 상태이다. 마지막으로 85 이상에서의 계사는 부적절하며, 육계상태는 생명이 위험한 상태이다.
- J.L Purswell 등 (2012)은 X. Tao 등 (2003)이 고안한 THI 지수를 사용하였다. $THI = 0.85t_{db} + 0.15t_{wb}$ (T_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), T_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) 기존 연구와 달리 고중량 육계를 대상으로 생육환경에 따른 THI 와 육계의 생장 상태를 분석하였다. 육계의 생장 상태는 체중, 체중 증가량, 사료 섭취량, 사료 요구율, 체내 온도를 통해 평가되었다. 실험 환경은 건구온도(15°C, 21°C, 27°C), 상대습도(50%, 65%, 80%)에 따라 총 9가지로 구성되었다. THI 는 14.8°C에서 26.9°C로 나타났다. 분석결과, THI 가 21°C를 넘으면 육계의 행동이 줄어들고 체온이 1.7°C까지 상승하였다. SigmaPlot을 이용한 회귀분석을 통해 THI 와 네 가지 파라미터(체중, 체중 증가량, 사료 섭취량, 사료 요구율)의 상관관계를 분석한 결과, 결정계수가 0.569에서 0.824의 값이 나왔다. 결론적으로 결정계수를 더 높이려면 개체 별 생육 상태에 따른 추가적인 THI 에 대한 연구가 필요하며, THI 가 생육 환경에 중요한 요인임을 확인할 수 있었다.
- Moura, D.J. 등 (2015)은 Chepete 등 (2005)이 고안한 THI 지수를 사용하였다. $THI = 0.71T_{db} + 0.29T_{wb}$ (T_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), T_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) 연구는 체중 증가량(body weight gain, BWG)의 손실과 고온스트레스 지수(THI)의 상관관계에 대한 것이다. 연구방법은 52가지 선행연구를 meta-analysis(메타분석)하고 data mining 기술 중 의사결정나무를 통해 상관관계 분석을 하였다. 분석결과, 건구온도는 3

2°C, 습구 온도는 25.5~25.7°C, *THI*는 23.3 이상에서 육계의 무게가 36.5% 감소할 것으로 예측되었다.

- Candido 등 (2016)은 Buffington 등 (1981)이 만든 Black Globe Humidity and Temperature Index(*BGHI*)를 이용하였다. $BGHI = T_{db} + 0.36T_{wb} + 41.5$ (T_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), T_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) 실험은 375일 된 육계를 대상으로 3주간 이상적인 온도로 유지하며 관찰하다가 5그룹으로 나누어 3주간 서로 다른 환경에서 관찰했다. 관측 인자는 체중, 체중 증가량, 사료 섭취량, 사료 요구율이며 5그룹은 온도 환경에 따라 국제표준 적정 환경, CASSUCE 등 (2013)의 적정 환경, 3가지 저온 스트레스 환경(상, 중, 하)으로 구분된다. 예상과 다르게 국제표준 적정 환경보다 CASSUCE 등 (2013)의 적정 환경 혹은 약한 저온 스트레스 환경에서 육계의 상태가 좋았으며 계산된 *BGHI*는 국제표준 적정 환경에서 가장 높게 나타났다.
- C.Y. Lin 등 (2018)은 X. Tao 등 (2003)의 *THI*를 이용하였다. $THI = 0.85t_{db} + 0.15t_{wb}$ (t_{db} : 계사 내부의 건구온도(°C), t_{wb} : 계사 내부의 습구온도(°C)) *THI*와 이미지를 이용한 딥러닝 알고리즘을 토대로 *THI*에 따른 육계의 움직임 분석하였다. *THI*지수가 온습도를 이용한 간접적인 지수임을 보완하기 위한 것으로 육계의 움직임과 *THI*지수는 반비례하는 경향으로 나타났다.
- 하주완 등 (2020)은 외부 환경조건을 통해 *THI*지수를 산정하는 *THI*예측식을 개발하였다. 환기 방식에 따라 크로스 환기에서는 $THI = -0.0143t^2 + 1.4552t - 2.2624$ (t : 외기온도(°C)), 터널 환기에서는 $THI = -0.0189t^2 + 1.7037t - 4.6349$ (t : 외기온도(°C))으로 나타났다. 계사 내부의 센서들이 열악한 환경으로 내구성 손상 및 감도 저하 등의 피해를 입기 때문에 외기온도 및 외기 엔탈피를 기준으로 *THI*를 예측하였다. 분석 결과, 상관관계의 신뢰도를 나타내는 결정계수(R^2)가 외기 엔탈피를 이용했을 때보다 외기온도를 이용했을 때, 더 높게 나타났다.

대상 축종	고려 인자	대표적인 THI 계산식	Reference
육계	건구온도, 습구온도	$THI = 0.55 \times T_{DS} + 0.15 \times T_{HS}$	Tao and Xin (2003)
산란계	건구온도, 습구온도	$THI = 0.6 \times T_{DS} + 0.4 \times T_{HS}$	DeShazer and Beck (1988)
육계, 산란계, 젖소, 돼지	건구온도, 상대습도	$THI = (1.5 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.5 \times T - 26.5)]$	Dikmen and Hansen(2009); NRC (1971)
육계	건구온도, 습구온도, 풍속	$THIVT = (0.55T_{DS} + 0.15T_{HS}) \times V^{-0.085}$	Tao and Xin (2003)
육계	건구온도, 습구온도, 사육주령	$THI_{S-4117X} = 0.62T_{DS} + 0.38T_{HS}$	Chepete et al. (2005)
		$THI_{S-S117X} = 0.71T_{DS} + 0.29T_{HS}$	
육계, 산란계	건구온도, 상대습도, 지역	$THI = 0.5T_{DS} + \frac{RH(T_{DS} - 14.3)}{100} + 46.3$	Moraes et al. (2008)
젖소	풍구온도, 이슬점온도	$BGHI = T_{GC} + (0.36 \times T_{GP}) + 41.5$	Buffington et al. (1981)
젖소	건구온도, 상대습도, 풍속	$EIT = 27.83 - 0.456 \times T_{DS} + 0.010754 \times T_{DS}^2 - 0.4905 \times RH + 0.00063 \times RH^2 + 1.15 \times V - 0.12644 \times V^2 + 0.019676 \times T_{DS} \times RH - 0.046313 \times T_{DS} \times V$	Baeta et al. (1987)
육우	풍구온도, 상대습도, 풍속, 복사강도, 노출시간	$HLI_{TBG > 25} = 8.62 + 0.38 \times RH + 1.55 \times T_{GC} - 0.5 \times V + e^{(2.4 - V)}$	Gaughan et al. (2010)
		$HLI_{TBG < 25} = 10.66 + 0.28 \times RH + 1.30 \times T_{GC} - V$	
열과 추위에 익힌 동물	건구온도, 상대습도, 풍속, 일사량	$CCI = T_g + RH_{correction\ factor} + HVS_{correction\ factor} + R4D_{correction\ factor}$	Mader et al. (2014)
		$RH = e^{-0.00133 \times RH + 1.0 \times 10^{-4} \times T_g \times RH} \times (0.000054 \times T_g^2 + 0.00192 \times T_g - 0.0246) \times (RH - 30)$	
		$HS = \frac{-0.56}{e^{-1.028 \times 11.5^{0.23}} \times 10^{-2.44 + 1.28 \times 10^{-4} \times T_g - 0.028 \times 11.5^{0.23}} - 0.00566 \times 11.5^2 + 3.33}$	
		$R4D = 0.0073(R4D - 0.00002 \times R4D \times T_g + 0.00005 \times T_g \times \sqrt{R4D}) + 0.1 \times T_g - 2$	

- 육계의 고온스트레스 지수 산정 기준 및 임계점

	육계	산란계
폐사 위험	97 이상	90 이상
매우 심함	88 ~ 97 미만	80~89 미만
심함	78 ~ 88 미만	70~79 미만
경미함	68 ~ 78 미만	60~69 미만
영향 없음	68 미만	60 미만

(a) NRC, 1971; St-Pierre et al., 2003

	육계
응급	39.02 이상
경각	36.08 ~ 39.02 미만
위험	33.14~ 36.08 미만
보통	33.14 미만

(b) Tao and Xin, 2003

	육계, 산란계
폐사 위험	85 이상
심하게 불편	81 ~ 85 미만
변화 필요	77 ~ 81 미만
약간 불편	73 ~ 77 미만
적절	73 미만

(c) Buffington et al.,1982; Moraes et al., 2008

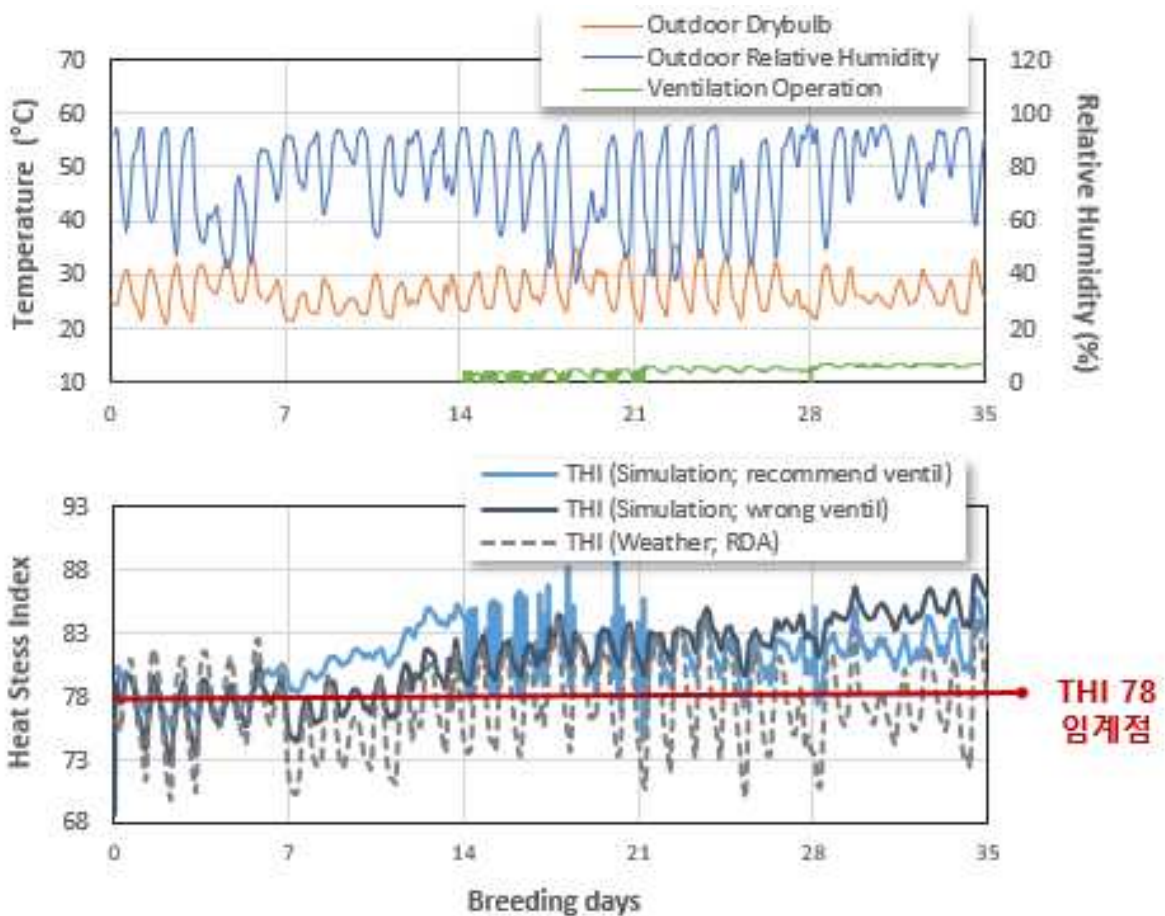
<가축의 고온스트레스 지수 산정 기준 및 임계점 비교>

2) 가축 고온스트레스 모델 해석 결과 기반 고온스트레스 지표 적용

- 농촌진흥청 가축사육 기상정보시스템 결과 비교 분석

- 농진청에서 폭염에 대한 가축 피해를 줄이기 위해 기상청 동네예보와 연계하여 실시간으로 가축 더위지수를 제시하고 있다. 이는 기후변화 시나리오 자료로 IPCC의 RCP 시나리오에 따라 외부 기온과 습도 변화를 고려하여 서비스를 제공한다. 한우, 젖소, 돼지, 가금 각각의 축종에 대한 온습도 지수 예측 모형을 이용하여 고온스트레스를 예측한다. 한계점으로 자연 환기를 주로 하는 젖소 이외에 무창, 반부창 시설에서 사육되는 닭과 돼지의 경우 외부 기상 변화로 고온스트레스 지수를 산정할 경우 실제 사육시설 내 조건과 많이 다른 조건으로 지표가 분석될 수 있다. 농진청의 가축사육 기상정보시스템의 유용성을 검토하기 위하여 동적에너지 분석 모델을 이용한 가축 고온스트레스 결과와 비교하였다.
- 연산은 7월 15일부터 8월 19일까지로 일년 중 가장 더운 한달을 기준으로 하였으며 우리나라에서 육계 사육을 가장 많이하는 전북 남원시 기상데이터를 활용하여 비교하였다. 육계가 약 5주간 성장하며 사육 밀도는 39kg/m²으로 가정하였다. 외부기상과 연산 결과는 아래 그림과 같다. 에너지 모델 연산을 통한 고온스트레스 지수는 일령, 사육밀도, 환기량 등이 기본적으로 고려되므로 사육 초반부터 후반으로 갈수록 고온스트레스 지수가

점차적으로 증가하는 양상을 합리적으로 나타내고 있다. 하지만 농진청 평가 방법 대로 외부 기상을 그대로 고온스트레스 산정 시 외부 기온에 따른 변화만 나타내며 일령 및 환기량에 따른 평가도 되지 않아 사용자의 판단 기준으로 삼기에 적절치 않은 것으로 분석되었다. 결국 외부 기상데이터를 이용해 가축 고온스트레스 지수를 단순 예보할 경우 정확도가 낮으며 시설 내에서 사육되는 닭, 돼지는 축사 내부 환경 변화 모의가 필요하다. 또한 에너지 모델 연산도 환기량에 따라 결과를 나누어 분석하였다. 하림사에서 권장하는 내부 온도 및 주령별 운영 환기량을 고려한 결과는 육계가 성체가 되는 후반에 환기량을 늘려 고온스트레스 지수가 크게 증가하지 않으며 임계점을 크게 벗어나지 않으나, 잘못된 환기 운영시에 급격하게 증가하는 고온스트레스 지수를 나타내고 있다. 즉, 고온스트레스 지수는 외부 기온 및 환기량에 가장 크게 영향 받는 변수임을 알수 있고, 환경에 맞는 운영 환기량을 제대로 제시하여야 사용자가 이상기후에 더욱 선제적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.



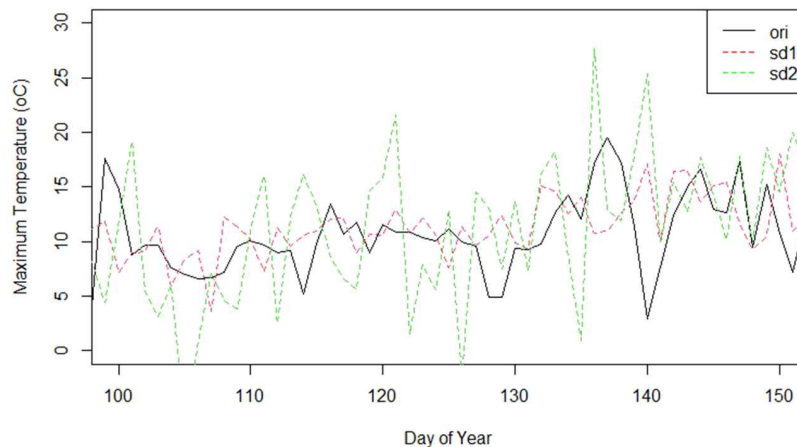
<농진청서 적용한 모델과 개발한 모델의 고온스트레스 연산 결과 비교>

마. 모바일 앱 기반 작물 생육 예측 및 의사결정 지원 도구 구축 및 시험 운영

○ 기상예측 자료 기반 작물 생육 전망 정보의 신뢰도 분석

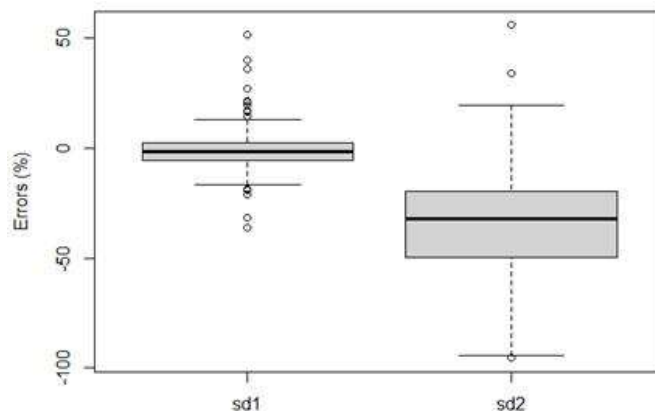
1) 기상 예측 자료의 불확도에 따른 작물 생육 모형의 민감도 분석

- 기상 입력 자료의 불확도에 따른 작물 생육 모형의 민감도를 분석하였다. 작물 생육 모형은 기상 자료에 큰 영향을 받으므로, 작물 생육 모형 결과를 활용하기 위해서는 기상자료의 신뢰도가 중요하다. 기상 예측 자료의 불확실성에 따라 작물 생육 모의 결과에 발생하는 오차의 크기를 파악하는 것이 추후 작물 모형 결과를 해석하는데 유리하다.
- 관측 기상자료를 기준으로 무작위의 오차를 가진 기상자료를 생성하였다. 먼저 이동평균 기법을 사용하여 관측 기상 자료의 10일 단위의 평균과 표준편차를 계산하였다. 표준편차를 기준으로 관측자료에 랜덤 변이를 추가한 기상자료를 생성하였다. 랜덤 변이의 평균 크기가 표준편차의 1배, 및 2배인 기상자료가 생성되었다.



<랜덤변이를 적용하여 얻어진 일별 최고기온 예시>

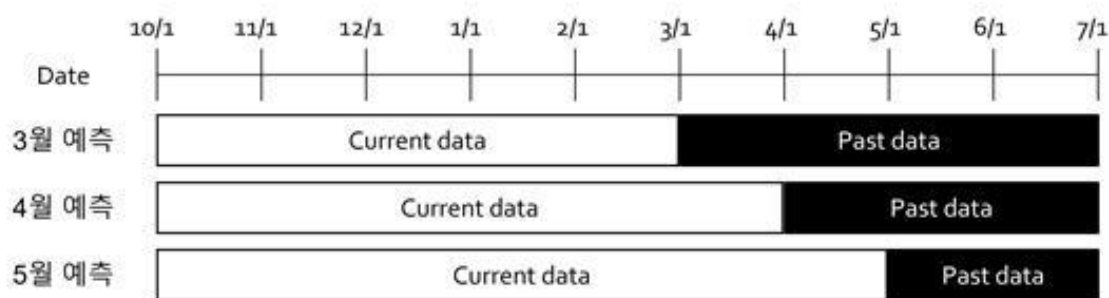
- 랜덤 변이를 적용할 경우 대부분의 지역에서 실제 기상자료를 사용했을 때보다 생육이 감소하는 경향이 있었다. 랜덤 변이의 크기로 표준편차를 사용한 경우 (sd1) 25~75%에 해당하는 결과는 오차가 크지 않았다. 그러나 최대 오차의 경우 관측 기상자료 대비 약 50% 이내의 차이가 발생하였다. 표준편차의 2배를 랜덤 변이의 크기로 사용한 경우 (sd2) 작물이 제대로 성장하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하였다.



<실제 기상자료를 사용한 모의값 대비 랜덤 변이의 크기에 따른 차이>

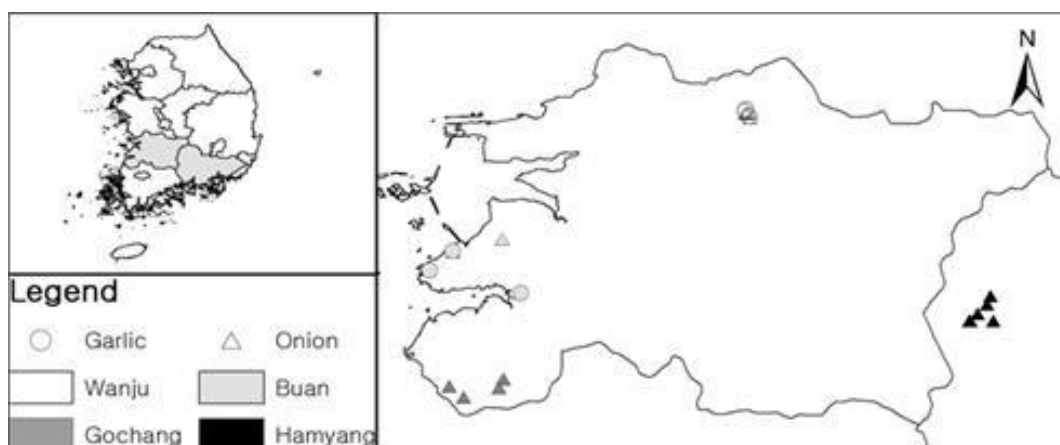
2) 단기/중기/장기기후예측값 활용에 따른 작물 생육 예측값의 신뢰도 분석

- 작물 생육 전망 자료의 신뢰도 분석을 위해 과거 기상자료를 활용하여 시기에 따른 작물 생육을 예측하고, 현재 기상자료만을 활용하였을 때의 작물 생육 결과와 비교하였다. 서로 다른 세 개의 시기 (3월, 4월, 5월)를 기준으로 작물 생육을 예측하고자 하였으며, 이를 위해 예측시기를 기준으로 해당 년도의 기상자료와 과거 기상자료를 연계한 기상자료를 양파와 마늘의 재배 기간인 10월 ~ 이듬해 7월에 대하여 생성하였다. 각각의 예측 시기별로, 예측 시기 이전까지는 해당 년도의 관측 기상자료를 사용하고, 그 이후로는 과거 4년간의 자료에 대하여 각각 연계한 4개의 기상자료를 생성하였다. 관측 기상자료는 농업관측통계시스템 (oasis.krei.re.kr)으로부터 수집하였으며, 과거 기상자료는 농업기상재해 조기경보시스템 (agmet.kr)으로부터 수집하였다.



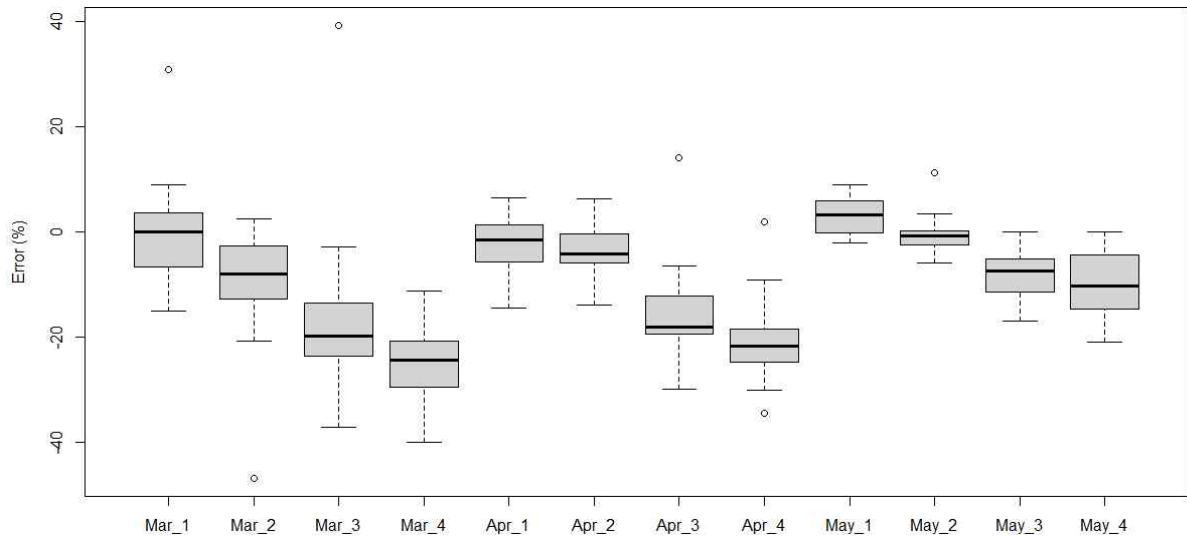
<기상 예측 및 관측 자료 연계기상 입력 자료 생성 예시>

- 양파와 마늘을 재배하는 지역들 중 과거 기상자료가 수집 가능한 지역에 대하여 생육 예측값의 차이를 분석하였다. 양파에 대한 분석은 고창 4개, 부안 3개, 완주 4개, 함양 6개 농가의 위치에 대하여 수행되었으며, 마늘에 대한 분석은 부안 3개, 완주 4개 농가의 위치에 대하여 수행되었다.



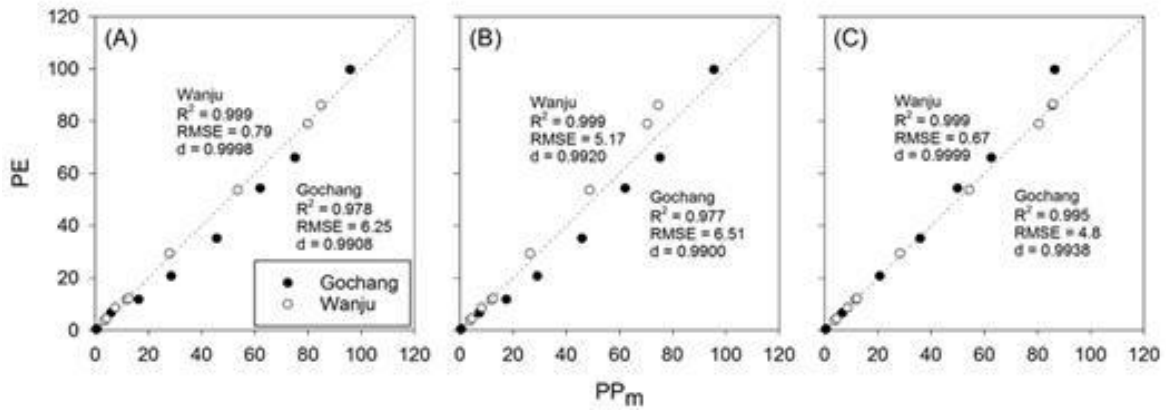
<연계 기상자료를 활용하기 위한 마늘 및 양파 자료 공간 분포>

- 현재 기상자료만을 활용하였을 때의 수량값과 비교하였을 때, 기상 연계 년도가 현재와 멀어질수록 오차가 큰 경향이 나타났다. 예를 들어, 4년 전 기상자료를 연계한 기상자료를 활용할 경우 평균적으로 20% 정도의 오차가 발생한 반면, 1년 전 기상자료를 연계한 기상자료를 활용할 경우 현재 기상자료만을 사용했을 때와 평균적으로 큰 차이가 없었다. 예측시점에 따른 평균적인 오차는 크게 발생하지 않았으나, 예측시점이 이룰수록 오차의 변이가 크게 나타나는 경향이 나타났다. 예를 들어, 대부분의 지역에서 생육이 이루어지는 3월부터 예측 자료를 사용한 경우 최대 양파 수량 추정에 있어 40% 이상의 차이가 발생하였다.

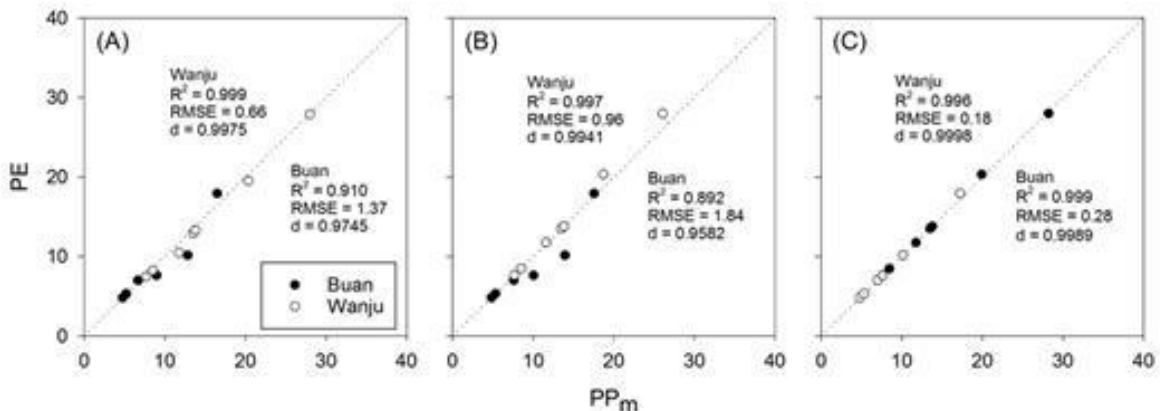


<기상연계 시기 및 연계년도에 따른 양파 수량 예측값 차이>

- 과거 기상 연계자료를 활용할 경우, 불확실성을 고려하기 위해 과거 4개 년도에 대하여 각각 모의를 진행하고, 이를 평균하는 방식을 채택하였다. 이러한 방식으로 양파와 마늘의 생육을 예측할 경우 사전 예측한 결과가 실제 기상자료를 사용하여 예측한 결과가 상당히 유사하게 모의되었다.



<현재 (PE) 및 과거 기상자료 혼합 (PPm) 3월 (A), 4월 (B), 5월 (C) 양파 수량 (t ha⁻¹) 비교>



<현재 (PE) 및 과거 기상자료 혼합 (PPm), 3월 (A), 4월 (B), 5월 (C) 마늘 수량 (t ha⁻¹) 비교>

○ 가뭄에 의한 작물 피해 저감 지원을 위한 모바일 앱 구축 및 시험 운영

1) SIMPLE 작물 모형 기반 클래스 설계

- 생육 전망 정보를 생산하기 위해 기상, 토양, 재배관리 데이터를 입력자료로 사용하여 일별 생육을 추정하는 SIMPLE 모형을 활용하였다. SIMPLE 모형은 간단한 형태의 수식들을 사용하여 작물의 일별 생육을 추정하기 위해 개발되었다 (Zhao et al., 2019). 예를 들어, SIMPLE 모형은 CO₂, 일사량, 온도, 및 수분 조건에 대한 반응을 모의하기 위해 sigmoid나 gaussian bell 형태의 반응함수들을 사용하여 작물의 일별 생육을 계산한다. 특히, 작물 생육을 모의하기 위한 수식에 적용되는 모수들의 갯수를 최소화하였기 때문에 일반적인 과정 기반 작물 모형보다 쉽게 활용될 수 있다. 특히, 13 종의 모수를 활용하여 각 작물별 특성을 반영할 수 있으며, 기본적으로 14 종의 작물에 대한 모수를 제공하고 있다. 이러한 SIMPLE 모형은 R, Excel에서 활용할 수 있는 형태로 배포되고 있다.
- 본 연구에서는 SIMPLE 모형의 구성 요소들을 클래스의 형식으로 설계하였다 (Fig. 4). 우선 작물 생육과 관련된 요소들은 생태계를 구성하는 기본 요소들이기 때문에, 이를 대표하는 EcosystemComponent 클래스를 정의하였다 (Kim et al., 2018a). 작물 생육 모형을 구성하는 모듈들을 정의하는 클래스는 EcosystemComponent 클래스로부터 상속을 받아 개별적인 클래스로 정의하였다. 기상자료와 토양 자료를 처리하는 기능을 구현하기 위해 Atmosphere 및 Soil 클래스를 설계하였다. 또한, 작물의 일별 생육을 모의하기 위한 함수들과 멤버변수들로 SimplePlant 클래스를 구성하였다. 재배관리 중 관개 관리를 특화하여 처리하기 위해 Irrigation 클래스를 추가하였다.



<SIMPLE 모형 클래스 다이어그램>

2) 파 및 마늘 모의를 위한 작물 모형 개선

- SIMPLE 모형은 주로 초본과 및 두과류 작물들의 생육을 모의하기 위해 개발되었기 때문에 (Zhao et al., 2019), 기존의 SIMPLE 모형으로 모의하기 어려웠던 생구종의 변화를 모의하기 위해 양파와 마늘에 특화된 Onion 클래스를 설계하였다. Onion 클래스는 SimplePlant 클래스를 상속받고, 구근의 생육 특성을 모의할 수 있는 기능들을 추가하였다. 이를 위해 De Visser (1994)가 제안한 일장과 가온 조건을 고려하여 결구율을 추정하는 수식을 활용하였다 (Fig. 5). 기존 SIMPLE 모형에서 수량을 추정하기 위해 생체중에 Harvest Index를 곱하는 수식에서 결구율을 동시에 고려하도록 개선하였다. 이를 통해 결구가 되는 시기와 일단위로 생구가 성장하는 양상을 모의하였다.

$$\text{Bulbing factor} = \sum \text{GDD} \cdot \text{Daylength factor}$$

$$\text{GDD} = (\text{Tmax} + \text{Tmin}) \cdot 0.5$$

$$\text{Daylength factor} = \min(0, (d - \text{threshold})/\text{threshold})$$

$$\% \text{ of bulbing plants} = f(\text{Bulbing factor})$$

<결구율 추정 모듈 예시>

3) 모바일 앱 기반 작물 모형 구동 시스템 설계

- 안드로이드 앱을 통해 농장별로 쉽게 작물 모형을 구동하고 생육 모의 결과를 분석하여 의사 결정 지원 정보를 제공할 수 있도록 설계하였다. 사용자의 편의를 위해 앱에서 작물 모형의 구동에 사용되는 입력자료들을 자동으로 생성하도록 하였다. 예를 들어, 사용자가 입력한 농가의 위치정보를 사용하여 웹 기반의 기상데이터 베이스로부터 기상자료를 자동으로 다운로드 받을 수 있도록 설계하였다. 토양의 경우, 시비관리와 관개관리를 통해 토양 고유의 화학적 특성이 작물 생육에 미치는 영향이 줄어들기 때문에 기본적인 토양 자료를 입력자료로 활용하였다. 품종의 특성을 나타내기 위한 품종모수들을 앱에 탑재하여 작물 모형을 구동하기 위한 설정을 최소화하였다. 파종일과 수확일의 경우, 지역과 기상상황에 따라 사용자가 선택하여 작물 생산량을 전망하고, 이를 의사결정에 활용할 수 있도록 설계하였다.
- 작물 모형 구동과 재배관리 설정을 위한 기능 단위로 모듈을 개발하고 사용자 인터페이스를 통해 각 모듈을 연결하는 방식으로 모바일 앱을 설계하였다. 사용자의 입력에 따라 설정된 필지에 대해 기상 자료 처리 모듈, 토양 자료 처리 모듈, 품종 모수 처리 모듈들을 사용하여 작물 모형에 필요한 입력자료들을 준비할 수 있도록 모듈들을 연결하였다. 모바일 앱 인터페이스는 필지의 공간정보와 파종, 수확 및 관개관리 설정과 관한 데이터를 사용자로부터 입력받아 작물모형의 입력값을 생성하는 모듈들로 구성하였다. 또한, 작물 모형 입력자료들을 생성하는 모듈들과 모형 구동 모듈을 결합하여 설정된 입력 자료를 종합하고 작물 모형을 구동하도록 설계하였다. 작물 모형을 사용하여 생산량 전망자료가 생성되면 의사결정에 필요한 정보를 화면에 출력할 수 있도록 모바일 앱의 출력 자료 인터페이스를 구성하였다.

- C++를 사용하여 SIMPLE 모형의 개별 클래스와 메인함수를 구현하였다. 각 클래스는 입력자료를 받는 멤버함수와 작물 생육과 환경조건을 나타내는 변수들을 리턴하는 멤버함수들이 구현되었다. 또한, 일 단위로 작물 생육에 관여하는 과정을 모의하는 함수들은 상속 관계에 따라 특화된 기능을 수행할 수 있도록 가상 멤버 함수의 형태로 구현하였다. 이들 개별 클래스들은 작물 생육 예측 시스템의 모듈로 활용되었다.

```

atm->initialize();
soil->initialize();
plant->initialize();
irrig->initialize();

plant->readParameter();

irrig->set_bund_height(0);
irrig->set_mode(1); //auto_irrig

//daily
while(!plant->get_finished() && !atm->get_finished())
{
    plant->set_maximum_temperature(atm->get_tmax());
    plant->set_minimum_temperature(atm->get_tmin());
    plant->set_rainfall(atm->get_rain());
    plant->set_solar_radiation(atm->get_sradd());
    plant->set_ET0(atm->calculate_ET0());
    plant->set_daylength(atm->calculate_Daylength());
    soil->SetET0(0, plant->get_ET0());

    soil->set_rainfall(atm->get_rain());
    irrig->set_rainfall(atm->get_rain());

    irrig->set_water_require(soil->get_water_require());
    irrig->DoTimeStep();

    // output
    irrig_water = irrig->get_water_apply();
    N_required = plant->get_consumed_N();
    soil->irrigate(irrig_water);
    soil->applyN(N_required);

    soil->SetRootDepth(0, plant->get_root_depth());
    plant->set_transpiration(soil->GetTranspiration(0));
    plant->set_nuptake(soil->supplyN(0));

    atm->DoTimeStep();
    soil->DoTimeStep();
    plant->DoTimeStep();
}

```

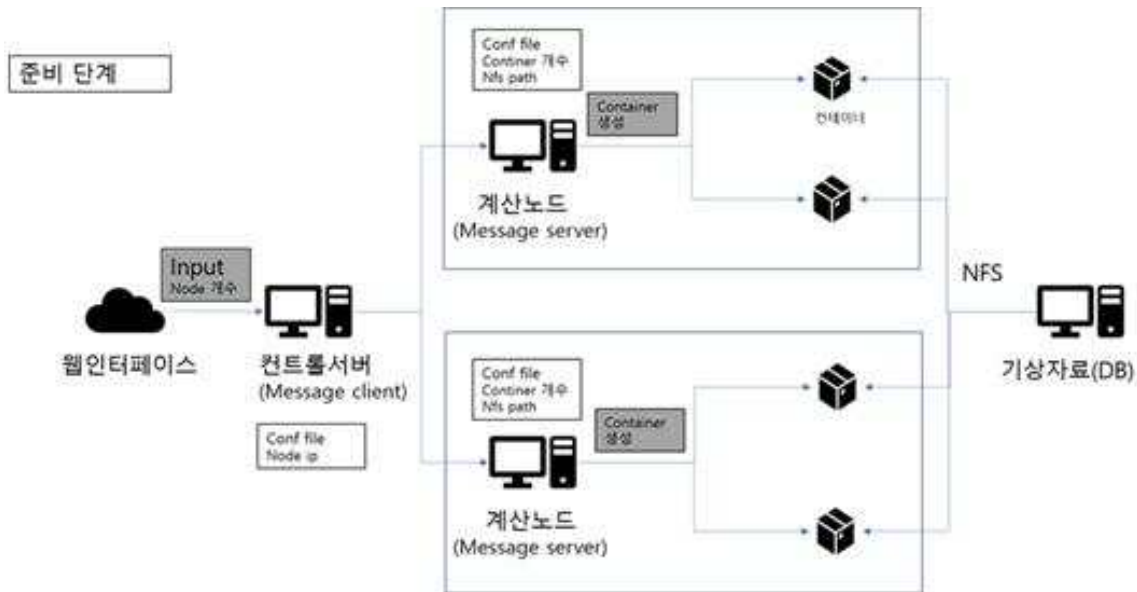
<클래스 초기화, 클래스간 자료연계 및 생육모의를 위한 메인 함수>

- 메인 함수는 작물 생육과 관련된 요소들을 나타내는 개별 클래스로부터 객체들을 초기화하고 이들을 연계하여 구현하였다. 외부로부터 전달받은 자료들을 기상 및 토양 객체에 저장하여 SIMPLE 모형의 작물 생육을 모의하는 객체에게 전달하도록 구현하였다. 이러한 과정은 입력자료들을 제공하는 객체의 멤버함수로 부터 리턴값을 받아 재배관리와 작물을 대표하는 객체들에 전달하는 방식으로 개발되었다. 특히, 작물이 재배되는 기간 동안 객체들 사이에서 자료들을 교환할 수 있도록 메인 함수를 구성하였다. 또한, 작물 생육 모의의 결과 자료들이 문자열의 형태로 출력될 수 있도록 구현하였다.

- 양파와 마늘의 생육을 모의하기 위해 SimplePlant 클래스로부터 파생된 Onion 클래스를 구현하였다. 작물 생육 모의에 필수적인 모수값의 종류가 기존 SIMPLE 모형과 차이가 있기 때문에 readParameter 함수를 양파 및 마늘 생육 예측에 특화된 형태로 구현하였다. 생구의 생육양상을 모의하기 위한 calculate_DVS 함수를 추가하였으며, 이에 따라 작물의 생육을 모의하는 rate 및 integrate 함수를 재정의하였다. 양파와 마늘에 대하여 특이적이지 않은 DoTimeStep, calculate_RUE 등의 일부 함수들의 경우 기존 SimplePlant 클래스의 코드를 재사용할 수 있었다.
- 양파와 마늘의 생구의 발생 및 일별 생육량 추정을 위한 함수는 TimeStep에 따라 생육량이 모의되도록 구현되었다. 해당 함수는 기상 자료 클래스로부터 TimeStep에 해당하는 온도와 일사량 자료를 입력자료를 호출한다. 일별 기상자료를 바탕으로 생구중을 계산하고 이를 수량 변수에 저장하였다.

4) 웹기반 입력자료 추출 및 처리 시스템 구축

- 일별로 수집되어야 하는 기상자료는 웹 기반의 통신 프로토콜을 사용하여 입력자료를 생성하는 방식으로 모듈을 설계하였다. 모바일 앱에서 작물 재배기간 동안의 기상자료를 사용하여 생산성을 전망하기 위해 다량의 기상자료가 수집되어야 한다. 이러한 기상자료를 자체적으로 생산하는 농가가 적기 때문에 기상청이나 기상자료 제공 서비스로부터 작물 모형 구동에 필요한 기상자료들을 검색하여 추출할 수 있도록 개발하였다. 특히, 농가의 위치정보를 활용하여 작물 모형에 필요한 지점의 기상 자료만을 추출하여 기상입력자료를 생성하도록 설계하였다.
- 기상자료를 제공하는 서비스에 따라 작물 생산성을 전망하기 위한 기상자료 생성 방식을 달리 하였다. 기상청에서 운영되는 서비스의 경우, 과거 관측자료가 관측소별로 제공된다. 이러한 자료를 사용할 때에는 농가와 최근린에 위치한 기상관측소에서 얻어진 과거 5년간의 자료를 사용하여 기상입력자료를 생성하도록 설계하였다. 만약, 현재 날짜가 정식일 이전이라면 과거 5년간의 기상자료를 웹 서비스를 통해 요청하고 입력자료에 필수적인 기상요소값을 추출한다. 정식일 이후에 모바일 앱이 사용될 때에는 현재까지의 기상관측자료와 과거 5년간의 기상관측자료를 동시에 요청하여 5개의 기상입력자료들을 생성한다. 이러한 방식으로 기상자료들을 생성하기 위해, 기상자료들 다운로드 하기 위한 모듈과 입력자료를 생성하는 모듈을 통합하여 기상입력자료 생성을 위한 시스템을 구성하였다.
- 본 연구에서는 웹 서비스를 활용하는 모듈들과 입력자료를 생성하기 위한 모듈들을 연계하여 시스템을 설계하였다 (Fig. 6). 예를 들어, 기상자료를 리빙랩 웹 서비스를 통해 수집하는 모듈은 json 형식으로 제공되는 기상자료를 다운로드 받는다. 이러한 기상자료들이 배열 형식의 자료구조에 저장되고, 특정 작물 모형의 입력자료 형식으로 전환하는 과정을 거친다. 작물모형의 입력자료로 생성하기 위해 개별 작물 모형별로 개발되어야 하며, 본 연구에서는 DSSAT 모형의 기상 입력자료를 생성하는 시스템을 설계하였다.



<웹 기반 기상 입력 자료 구축 모듈 모도>

- 웹 데이터베이스에 자료를 요청하고 해당자료를 다운로드 받아 작물모형의 입력자료를 생성하는 시스템을 구축하였다. 이러한 시스템은 HTTP의 request를 작성하는 모듈과 다운로드 받은 자료를 작물모형의 입력자료로 재구성하는 모듈로 구성되었다. 본 연구에서는 기상청 날씨누리과 리빙랩 웹서버에서 기상자료를 다운로드 받기 위한 클래스를 활용하여 모듈을 구현하였다. DSSAT 모형과 호환되는 기상입력자료를 생성하는 클래스를 사용하여 기상입력자료를 생성하기 위한 모듈을 구축하였다. 이러한 시스템을 Java로 구현하여 모바일 앱에서도 사용할 수 있도록 하였다.
- 웹 서비스에서 직접 기상자료를 다운로드 받기 위한 모듈을 추가적으로 구현하였다. 기상자료를 다운로드 받기 위해 HTTP의 request를 농가별로 작성하고 이를 웹 데이터베이스에 전송하는 모듈과 기상자료를 다운로드 받아 작물모형의 형식으로 재구성하는 모듈들로 시스템을 구성하였다. DSSAT 구동을 위해서는 수확일 까지의 기상자료가 필요하므로 마지막 관측 자료 이후로는 예측 자료가 연계되어 구성될 수 있도록 구현되었다.
- 모바일 앱의 기상자료 자동 수집 기능을 지원하기 위해 C++와 python을 사용하여 격자자료로부터 기상 입력 자료를 생성하는 웹 서버를 구축하였다. 단기, 중기 및 장기 예보자료를 포함하는 격자자료들로부터 사용자가 지정한 농가의 위도와 경도 좌표에 해당하는 격자를 탐색하고, 이로부터 작물 모형의 필수적인 기상입력자료를 생성하는 모듈을 구현하였다. Simple 모형이 DSSAT 형식의 기상입력자료를 사용하도록 구현되었기 때문에, 해당 모듈도 일별 일사량, 최대 기온, 최저기온 및 강수량으로 구성된 입력자료를 생성하도록 개발하였다.
- 처리된 격자 자료를 지점별 기상 입력자료 형태로 변환하는 모듈을 개발하였다. SIMPLE 모형 기상 입력자료의 경우 지점의 일반적인 특성 정보가 저장되는 헤더 부분과 일별 기상 자료가 테이블 형태로 저장된 부분으로 나뉘어있는 텍스트 파일 형태이다. 이러한 SIMPLE 모형 입력자료를 생성하기 위해 격자 자료로부터 추출된 일별 자료를 시계열 자료 형태로 문자열 변수에 저장하도록 구현하였다.

- 앱 인터페이스로부터 입력된 자료를 XML 형식으로 저장하는 모듈을 구현하였다 (Fig. 15). 각 변수의 이름과 변수 값을 SOIL 태그로 명명된 블록에 저장 할 수 있도록 개발되었다. 예를 들어 기본 토양 정보를 사용한다면 AVAILABLE_WATER_CAPACITY 태그에 입력변수값인 0.139으로 설정되도록 생성된다.

```
public void run(){
    System.out.println("Start Downloading Data (year: " + totyear + " )");
    WeatherDataManager db = new WeatherDataManager();

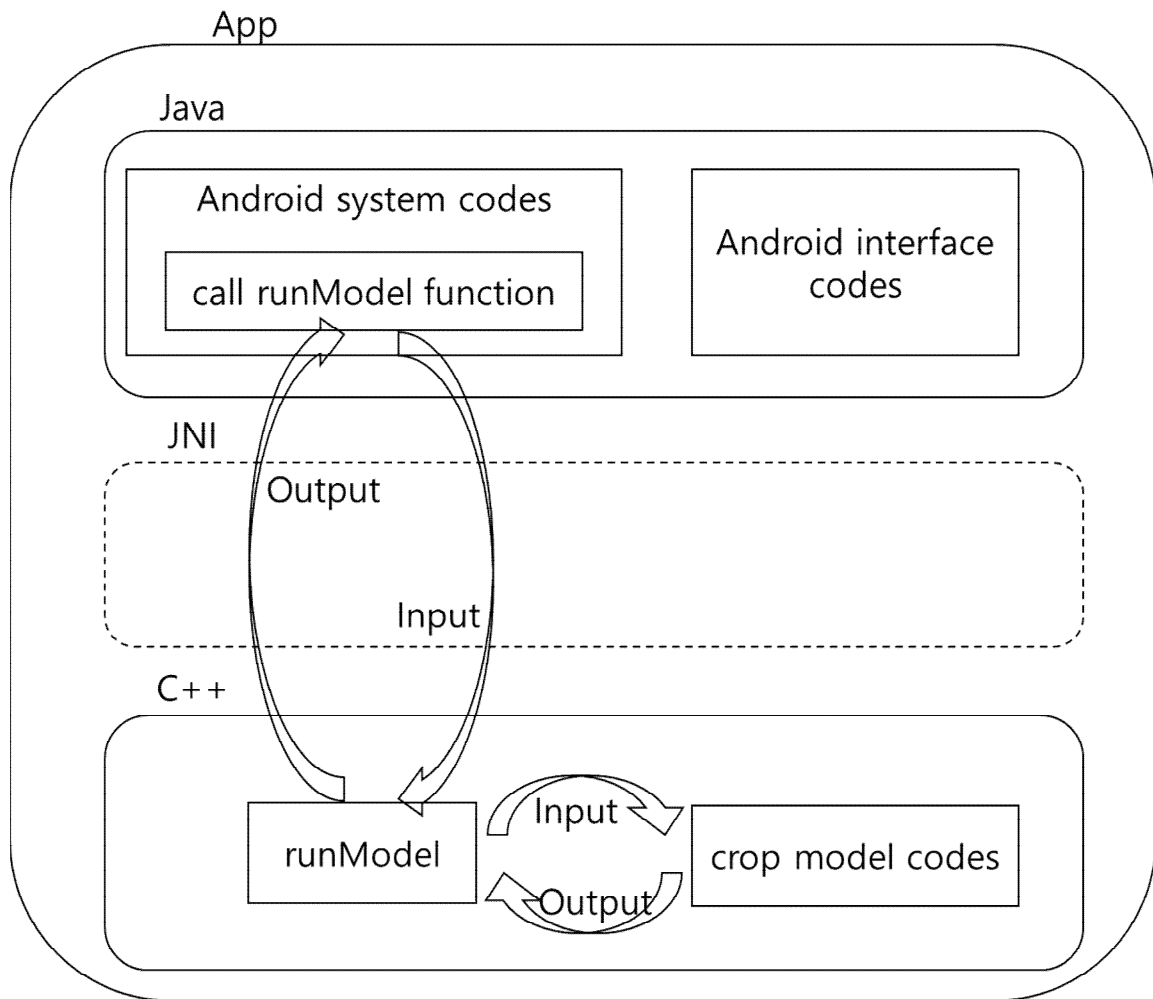
    res.append("<?xml?>");
    res.append("    <type?>?</type?>");
    res.append("    <name?>?</name?>");
    res.append("    <content?>?</content?>");
    res.append(db.prepareXml(sitecode, totyear, totyear, model));
    res.append("    </content?>");
    res.append("</?>");
}
```

```
<SOIL>
    <AVAILABLE_WATER_CAPACITY>0.139</AVAILABLE_WATER_CAPACITY>
    <DEEP_DRAINAGE_COEFFICIENT>0.34</DEEP_DRAINAGE_COEFFICIENT>
    <RUNOFF_CURVE_NUMBER>73</RUNOFF_CURVE_NUMBER>
    <ROOTZONE_DEPTH>400</ROOTZONE_DEPTH>
    <WATER_UPTAKE_COEFFICIENT>0.096</WATER_UPTAKE_COEFFICIENT>
</SOIL>
<XML 형식 생성도구 소스코드 및 XML 형식으로 작성된 토양입력자료>
```

5) 모바일 앱 기반 작물 모형 구동 시스템 구축

- Android 환경에서 SIMPLE 모형 활용할 수 있도록 모형 구동 시스템을 구축하였다. 일반적인 PC나 워크스테이션에서 사용되는 윈도우나 리눅스 뿐만 아니라 스마트폰의 운영체제로 사용되는 안드로이드나 IOS에서도 C++로 작성된 어플리케이션을 비교적 쉽게 활용될 수 있다. 예를 들어, Java나 Kotlin 으로 개발되는 안드로이드 어플리케이션의 경우, C++ 언어로 작성된 소스코드들과 호환이 가능하다. 예를 들어, C++로 작성된 모듈의 경우 JNI (Java Native Interface)를 통해 Java 언어와 호환되는 모듈을 구성할 수 있다. 특히, C++로 개발된 코드로 안드로이드 어플리케이션 개발할 경우 Java만을 사용하였을 경우에 비해 상대적으로 구동 속도가 빠를 것으로 기대된다 (Lin et al., 2011).
- Application programming interface (API)를 통한 웹 기반 입력자료 수집을 테스트하기 위한 모듈을 구축하였다. 모바일 앱에서 작물 모형 구동을 위한 기상자료를 모두 저장하기는 어려움이 있다. 따라서 웹 서버에 저장된 자료 중 필요한 기상자료를 요청하여 작물 모형을 구동할 수 있는 시스템을 구성하는 것이 유리하다. 이러한 웹 기반 자료 요청을 지원하기 위해 REST API 등이 활용될 수 있다.

- 토양자료의 경우 기본값을 제공하고 이를 수정할 수 있는 기능을 탑재하도록 설계하였다. SIMPLE 모형 토양 입력 변수로는 plant available water-holding capacity (AWC), runoff curve number (RCN), drainage coefficient (DDC), 및 root zone depth (RZD)가 필요하다. 이러한 변수는 토양 검정 시험을 통해 얻을 수 있으나, 필지별로 농민들이 이를 수행하기에는 어려움이 있다. 작물의 경우 주로 재배에 적합한 토양 조건이나, 토양을 작물 재배에 맞게 개량한 지역에서 이루어질 것으로 가정하였다. 따라서 기본 토양 정보를 제공하고, 추가로 상세 토양 정보를 활용할 수 있도록 수정할 수 있는 기능을 지원하고자 하였다.
- XML (extensible markup language) 형식으로 작물 모형 입력 자료를 전달하도록 모듈을 설계하였다. XML은 헤더와 바디 등의 블록으로 이루어져 여러 정보 메타데이터와 함께 저장할 수 있는 언어이다. XML을 활용하면 데이터의 종류와 데이터를 함께 보낼 수 있어 전달 받은 자료의 정보를 분석하여 필요한 변수를 추출하여 사용할 수 있다. 이를 바탕으로 작물 모수, 기상 자료, 토양 자료를 XML 형식으로 메모리에 저장하여 관리하고 작물 모형 구동에 활용하고자 하였다.
- 모바일 앱에서 작물 모형을 구동하기 위한 시스템은 JNI를 통해 SIMPLE 모형의 메인함수를 호출하도록 구성하였으며, 입력자료 생성모듈을 통해 생성된 기상입력자료와 토양입력자료를 전달하도록 구현하였다.
- Java 환경에서 Simple 모형의 메인함수를 호출하여 작물 모형을 구동할 수 있도록 구현하였다. jniSimple 이라고 명명된 공유라이브러리를 로드하고 runModel 함수로 선언하였다. 클래스 내에서 지정된 변수들로 작물 모형이 구동될 수 있도록 run 함수가 작성되었다.
- JNI 형식의 모듈 내부에서는 Java에서 사용되는 변수들이 C++와 호환되는 형태로 변환하는 과정이 필요하다. 또한, C++ 함수에서 사용되는 출력변수들을 Java와 호환되는 변수들로 전환하는 과정이 필요하다. 따라서, 입출력 변수의 자료를 변환하는 함수들도 작물 모형 구동 시스템에 포함되었다.
- JNI 라이브러리를 활용한 래핑 함수를 구현하였다. Java 환경과 호환되는 데이터형인 jstring 형태의 리턴값을 가지는 runModel 함수가 작성되었다. 함수의 인수로는 역시 Java 환경과 호환되는 jstring, jdouble 등으로 선언된 변수로 작성되었다. 해당 변수들은 다시 C++ 형식의 변수로 변환하여 SIMPLE 모형을 구동한다. 해당 함수를 포함한 SIMPLE 모형은 jniSimple이라는 이름을 가진 공유라이브러리 형태로 컴파일 되었다.



<JNI를 활용한 Java 기반의 안드로이드 시스템(위)과 C++ 기반의 작물 모형(아래) 연계>

- 개발된 모듈들을 그래픽 인터페이스와 안드로이드의 뷰 모델을 사용하여 연결하고 베타버전 형태의 모바일 앱을 구축하였다 (Fig. 17). 농장을 선택할 때, 작물 모형 구동을 위한 지역을 종관기상 관측소 리스트에서 인접한 관측소를 기준으로 설정하도록 개발하였다. 작물 재배 조건에 따라 생산성 전망 결과를 비교하기 위해 재배관리 시나리오를 구성할 수 있는 인터페이스를 구축하였다. 또한, 이러한 시나리오에 따라 기상입력자료 생성 모듈 및 작물 모형 구동이 순서대로 구동되어 결과가 저장되도록 구축하였다.
- 작물 생육 전망 결과 표출을 위한 그래픽 사용자 인터페이스의 경우, 기상에측자료에 따른 모의값 범위 및 평균값을 표출하도록 구성하였다. 현재 및 예보 기상자료를 활용하여 추정된 수량과 함께 과거 5년 간의 기상자료를 활용하여 추정된 수량을 참고자료로 제공하도록 구현하였다. 각 기상자료를 활용하여 추정된 수량 중 최대 및 최저 수량과 평균 수량을 텍스트 형태로 제공하도록 하였다. 또한 날짜에 따른 수량을 그래프 형태로 확인 할 수 있는 출력 인터페이스도 구현하였다. 출력 변수로는 우선적으로 수량이 표출되도록 인터페이스를 개발 하였다.
- 앱 인터페이스와 각 입력 자료 구축 모듈을 연계하여 앱을 구축하였다. 사용자가 입력 인터페이스로부터 설정한 필지 정보들은 해당 객체에 지역 변수에 저장된다. 이러한 변수들을 바탕으로 XML 형식의 작물 구동 조건 입력자료 생성 모듈을 개발 하였다. 입력 자료 생성을

위해 기상자료를 요청해서 다운로드 받는 모듈을 호출하도록 구현하였다. 추가로 설정된 토양 및 기상 자료에 대한 정보와 함께 작물 모형 구동 지점 코드, 구동 연도 등의 정보를 모두 담을 수 있도록 하였다.



<개발된 앱 구동 예시>

6) Android 호환 모바일 앱 구축

- 모바일 앱의 사용자 인터페이스를 통해 작물 모형의 구동과 출력 결과를 확인할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 우선, 농장의 공간정보와 작물의 재배조건을 설정하기 위한 인터페이스를 구성하였다. 이들이 작물모형의 입력자료로 생성되어 작물 구동 시스템에 전달될 수 있도록 안드로이드의 뷰모델을 활용하였다. 구동 시스템의 출력자료들 역시 뷰 모델을 통해 사용자 인터페이스로 전달되는 방식으로 모바일 앱을 구축하였다. 이를 설계하기 위해 인터페이스를 구성하는 클래스와 구동 시스템을 구성하는 클래스 사이에서의 자료교환 양상을 시퀀스 다이어그램을 활용하였다.
- 사용자의 필지 등록 및 관리, 작물 모형 입력자료 준비, 작물 모형 구동 결과 표출 등의 세가지 기능을 중심으로 인터페이스 화면을 구성하였다. 필지 등록의 경우 리스트 형태로 추가 및 제거 기능을 통해 관리할 수 있는 기능을 가지도록 하였다. 작물 모형의 입력자료를 준비하기 위한 인터페이스의 경우 기상 자료 및 재배관리 자료 입력을 구분하여 입력하도록 구성하였다. 구동 결과 표출을 위해 그래프와 같은 시각화 도구를 활용하는 것으로 인터페이스를 설계하였다. 예를 들어, 모형으로 추정된 양파 및 마늘의 생구중을 시계열로 확인할 수 있는 그래프를 출력용 인터페이스에 추가하였다. 또한, 과거 5년간의 기상자료를 사용함에 따라 발생할 수 있는 작물 생육 모의 결과의 불확도를 파악할 수 있도록 그래프를 구성하였다.

7) 모바일 앱 인터페이스 개선

- 실증 대상 작물 재배 농가의 인터뷰와 작물 관련 전문가들의 의견을 수렴하여 사용자 인터페이스를 개선하였다. 가뭄에 대비하여 재배관리의 변화를 주었을 때 기대되는 단위면적당 생산량을 제시하여 주어진 환경조건에서 농가의 의사결정을 지원할 수 있도록 사용자 인터페이스를 검토하였다. 특히, 정식일 이전에 관개 수준별 수량 전망 결과들을 제시하는 인터페이스에 대해 집중적으로 검토하였다. 또한, 모바일 앱 사용자가 손쉽게 작물 재배 설정을 할 수 있도록 사용자 인터페이스를 개선하였다.

- 필지 등록과 입력자료 준비를 위한 사용자 입력 인터페이스를 개선하였다 (Fig. 18). 농장 위치를 지도 상에서 설정하고, 재배 품종, 정식일 등을 설정할 수 있는 모듈이 개발되었다. 정식일의 경우 달력 형식의 입력 도구를 통해 설정할 수 있도록 구현하였다.
- 작물생육 모의값에 대한 텍스트 기반 및 그래픽 기반 인터페이스를 개선하였다. 정식일이 과거일 경우 입력된 재배관리에 따른 생육 모의값을 최대관개 조건과 비교한 결과를 표출하도록 구성하였으며, 특히 그래픽 기반 인터페이스를 통해 작물 생육을 시계열적으로 비교해볼 수 있도록 구성하였다. 정식일이 미래일 경우, 해당 시기 전후에 대하여 최대 관개 조건과 대비한 상대적인 수량과 정식일에 따른 상대적인 수량을 표출하도록 구성하였다.



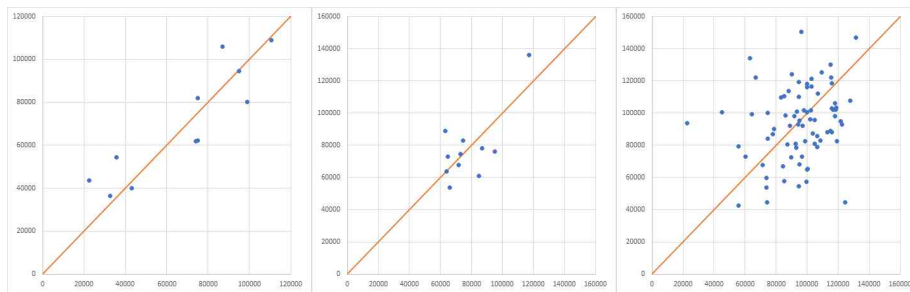
<개선된 인터페이스 예시>

8) 작물 생육 모형 작물 모수 구축

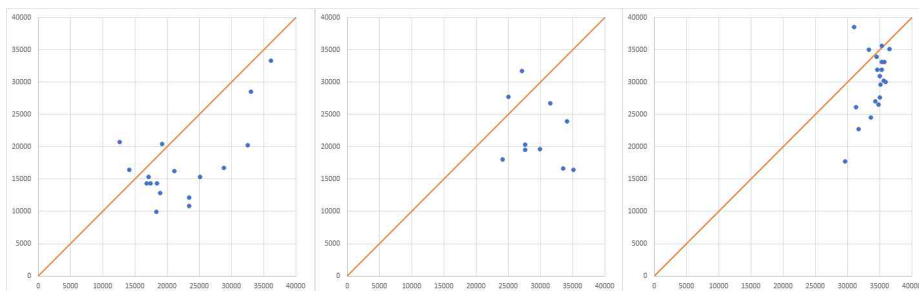
- SIMPLE 모형에는 현재 국내에서 재배되는 품종에 대한 모수는 제공하고 있지 않아 추가적인 모수 추정 과정이 요구된다. 작물모형의 모수 추정에는 베이지안 추론 방식에 기반한 다양한 방법들이 사용되며, 이러한 기능들을 제공하는 라이브러리들이 개발되어왔다. 본 연구에서는 모수 추정을 위해 C++ 라이브러리인 Quantification of Uncertainty for Estimation, Simulation, Optimization (QUESO) 라이브러리를 활용하였다.
- 본 연구에서는 품종 모수 추정을 위해 QUESO 라이브러리에서 제공하는 전역최적화 방법들 중 하나인 Metropolis Hastings (MH) 알고리즘을 사용하였다. MH 알고리즘은 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 방식들 중 하나로, 주어진 모수값 분포에서 임의로 모수값을 추출하고, 추출된 값에 따라 다음 모수값 분포가 결정되는 방식이다. 또한, 새롭게 추출된 모수값에 따라 결과가 개선될 경우 해당 모수값을 수용하고, 결과가 악화될 경우 확률적으로 거절하는 방식이 추가되어, 오차값이 작은 모수들의 추출빈도가 증가하게 된다. 결과값의 개선 여부를 판단하기 위해 Generic Composite Similarity Measure (GCSM) 값을 활용하였다 (Liu et al., 2020).
- 품종 모수가 추정된 품종들이 적을 경우, 실제로 재배되는 품종을 대신하여 생태형별 품종 모수가 사용될 수 있다. 특히, 개별 품종에 대한 관측자료가 부족할 경우, 이들 품종에 대한 품종모수를 추정하기 어렵다. 본 연구에서도 관측자료에서 제시된 생태형을 구분하여 품종

모수를 추정하였다. 양파의 경우, 생육 시기에 확연한 차이를 보이는 세가지 생태형들을 분류하여 각각 품종모수를 추정하였다. 이를 위해 해당 생태형을 재배하는 모든 농가의 자료를 활용하였다. 결구가 관측된 직전 시점부터 결구가 되어 생구종이 증가하는 기간 동안의 생구종 자료를 활용하여 모수를 추정하였다.

- 양파의 품종모수들은 조생종 품종들에 대해 신뢰도 높은 모수값들이 추정되었다 (Fig. 19). 특히, 조생종 양파의 수량 추정값은 관측값 변이의 상당부분을 설명하였다. 제주지역에 재배되는 조생종을 개별 그룹으로 분류하여 추정하였을 때에도 비교적 높은 수준의 상관관계수가 얻어졌다. 다만, 관측수량이 적었을 경우에는 오차가 큰 농장들이 나타났다. 반면, 중만생종 양파의 경우 상당히 큰 오차들이 발생한 농가들이 다수 존재하였다.
- 마늘의 경우 모수를 추정한 결과 대부분의 지역에서 관측값과 비슷하거나 높은 수량이 모의되었다. 한지형 마늘의 경우 일부 농가들에서는 수량의 경향을 잘 나타냈으나, 낮은 수량에서 잘 맞지 않는 경향이 나타났다. 난지형 남도 마늘의 경우 상대적으로 큰 오차가 나타났다. 난지형 대서 마늘의 경우 높은 상관관계가 나타났으나, 정확한 수량은 모의되지 않았다.

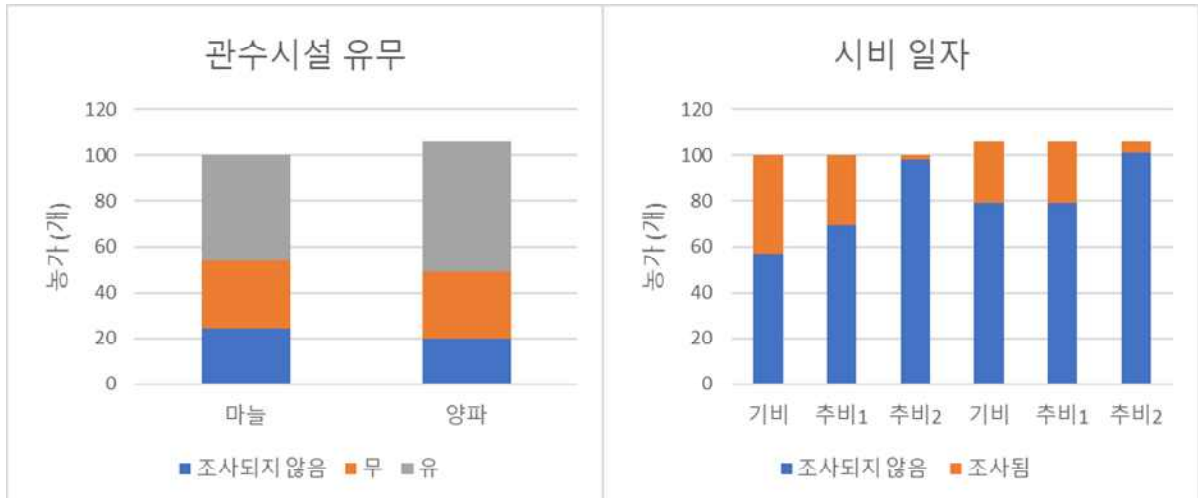


<양파 모수 추정 결과 (조생, 제주지역 조생, 중만생)>



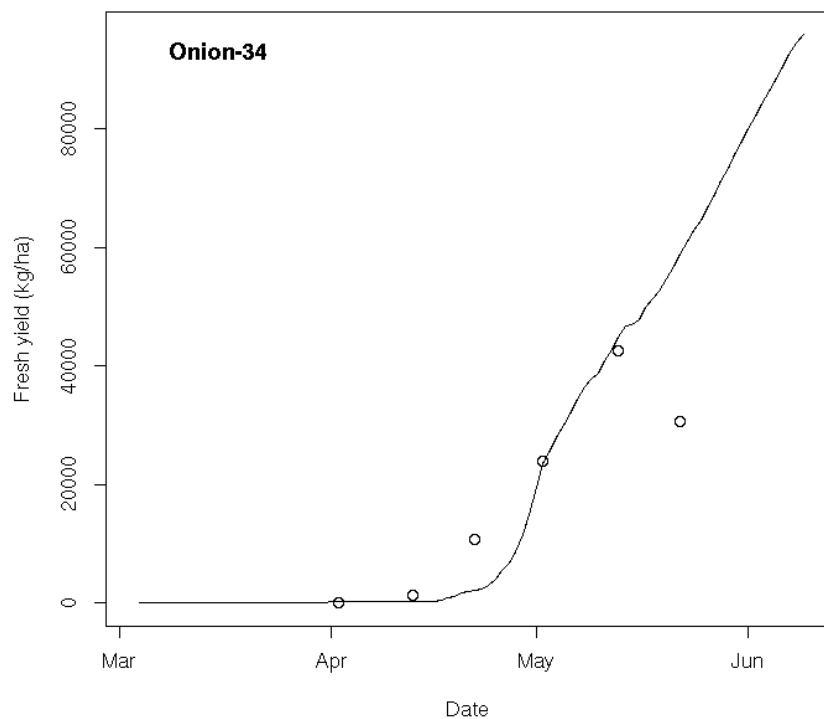
<마늘 모수 추정 결과 (한지형, 난지형 남도, 난지형 대서)>

- 모의값과 관측값의 차이가 발생하는 원인은 입력 자료의 불확실성의 영향이 컸을 것으로 분석되었다. 우선, 기상자료를 필지별로 관측된 자료가 아닌, 소기후모형을 통해 생성된 기후상세화 자료를 사용하였기 때문에 차이가 발생했을 것으로 예상되었다. 또한, 본 연구에서는 수분과 양분이 충분히 공급된다는 가정 하에서의 작물 생육을 모의하였는데, 이로 인해 시비 및 관개관리에 따른 생육의 차이를 충분히 반영하지 못했을 것으로 예상되었다. 이러한 가정은 시비 및 관개 관리에 대한 구체적인 정보가 제시되지 않았기 때문에 설정되었다 (Fig. 21). 예를 들어, 대부분의 농가에서 관수시설의 유무가 조사되었으나, 실제 관개관리에 대한 구체적인 정보는 조사되지 않았으며, 20% 정도의 농가에서는 관수시설의 유무도 조사되지 않았다. 시비관리에 대해서는 36% 정도의 농가에서 시비 일자에 대한 정보가 조사되었으며, 시비량에 대한 정보는 조사되지 않았다.

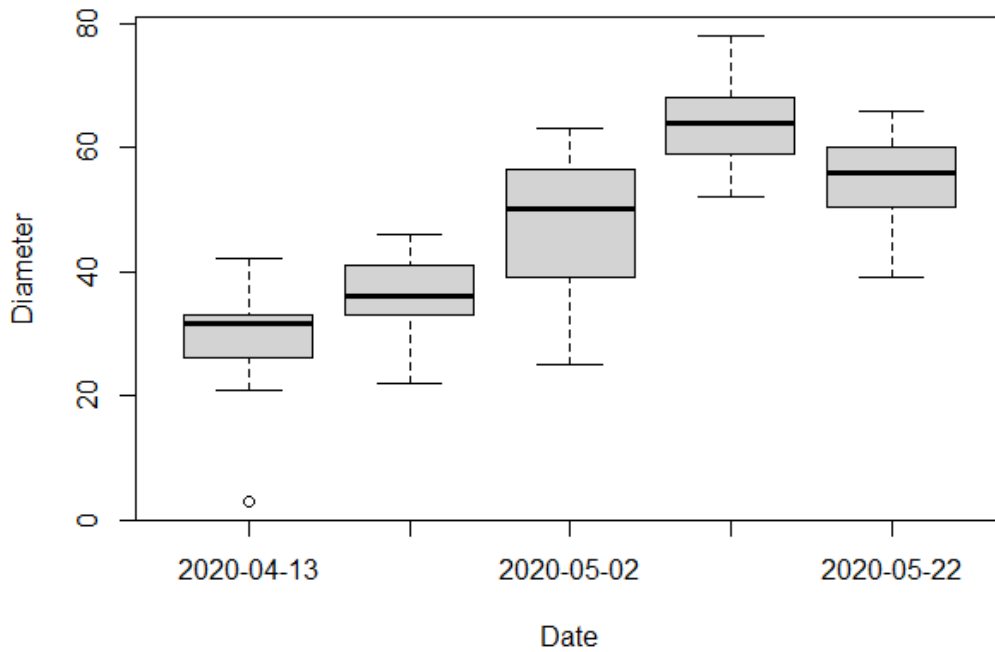


<관수시설 유무 및 시비 일자에 대한 자료 유무>

- 생육이 진행됨에 따라 모형에서는 생장속도가 감소하기는 하지만 생체중이나 수량이 감소하지 않는 반면, 관측값에서는 수량이 줄어드는 경우가 있었다 (Fig. 22). 이로 인하여 생육 중 반까지는 경향이 비슷하게 나타나지만, 이후에 차이가 발생하였다. 이러한 경우, 시기별 관측값들 중 일부 자료에 문제가 있는 것으로 분석되었다. 관측값의 감소로 인해 차이가 발생하는 대부분의 경우, 생육이 진행됨에 따라 구의 크기 자체가 오히려 감소하였기 때문에 발생한 것으로 분석되었다 (Fig. 23). 이는 같은 농가 내의 작물들 간 생육의 차이가 있으며, 관측값 측정을 위한 표본을 추출하는 과정에서 생육이 불량한 개체들이 추출되었기 때문으로 예상되었다.

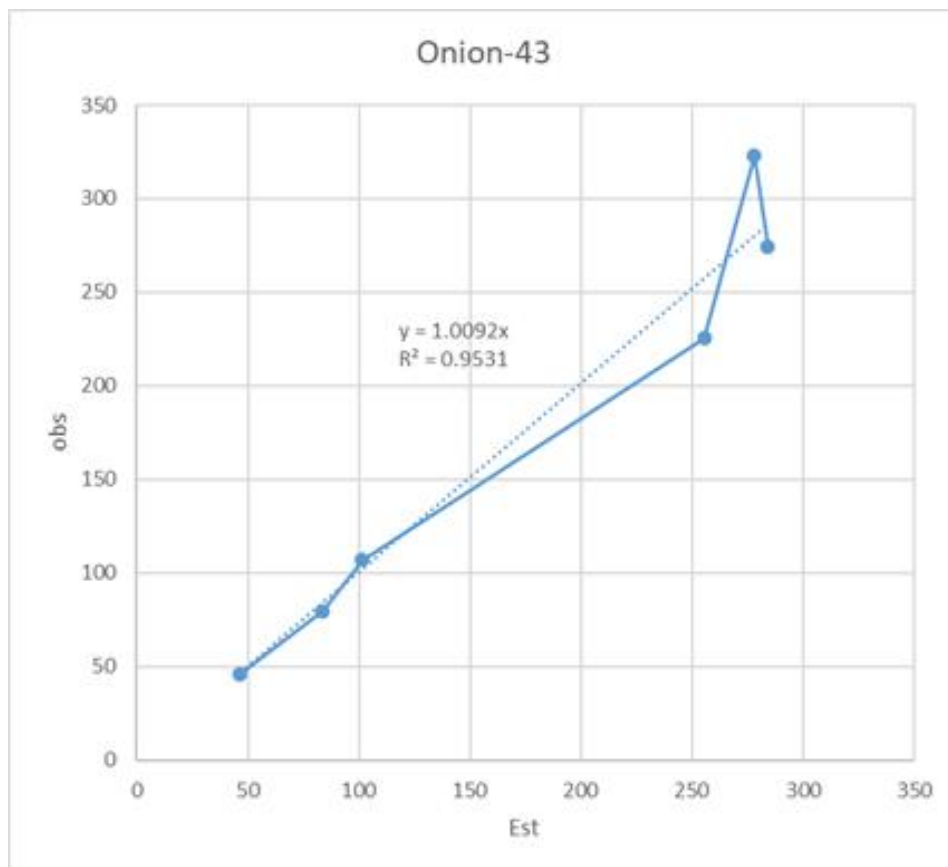


<생육 후반 관측값의 감소로 인해 차이가 발생하는 경우에 대한 예시>



<수량이 감소했던 농가에 대한 시기별 구직경 관측값 예시>

- 반대로, 중간 생육 단계에서 자료의 품질에 문제가 있는 경우도 있었다. 대부분의 자료에서는 구직경과 생구중 사이에는 매우 높은 상관관계가 나타나지만 (Fig. 24), 일부 관측값의 경우 그러한 경향에서 크게 벗어나는 경우가 발생하였다.



<구직경으로 추정된 생구중과 측정된 생구중의 비교 예시>

라. 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 관리모델 구축 및 적용성 평가

○ 사용자 중심의 농업가뭄 확산 및 농업용수 수요·공급 모의 예측성 평가 및 개선

1) 저수지 모의 모듈 개선

- K-HAS 및 비율보정계수기법을 활용한 저수지 모의 모듈 개선

- 본 연구에서는 Lee et al. (2020)이 제안한 비율보정계수기법(RCFs, Ratio Correction Factors)을 활용하여 농업용저수지 저수량 모의 모듈 개선하였다.
- RCFs는 Tank모델, 물수지모델과 같은 기존 모형을 사용하여 시뮬레이션한 농업용저수지의 유입, 유출량에 보정계수를 적용하고 예측된 일별 저수량과 비교·반복 계산하며 최적화계수를 결정하는 방법이다.
- Input값은 저수지별 유효저수량, 사수량, K-HAS(일별유입량, 일별필요저수량), RIMS 실측(일별)저수량이며, 매개변수는 a (저수위, 가뭄시 공급계수), b 고수위, 평시 공급계수), c (유입계수), k (최적화저수량계수)이다. 목적함수를 통해 K-HAS 모의값(유입량, 필요수량)과 실측값을 최적화하여 매개변수를 확정한다.

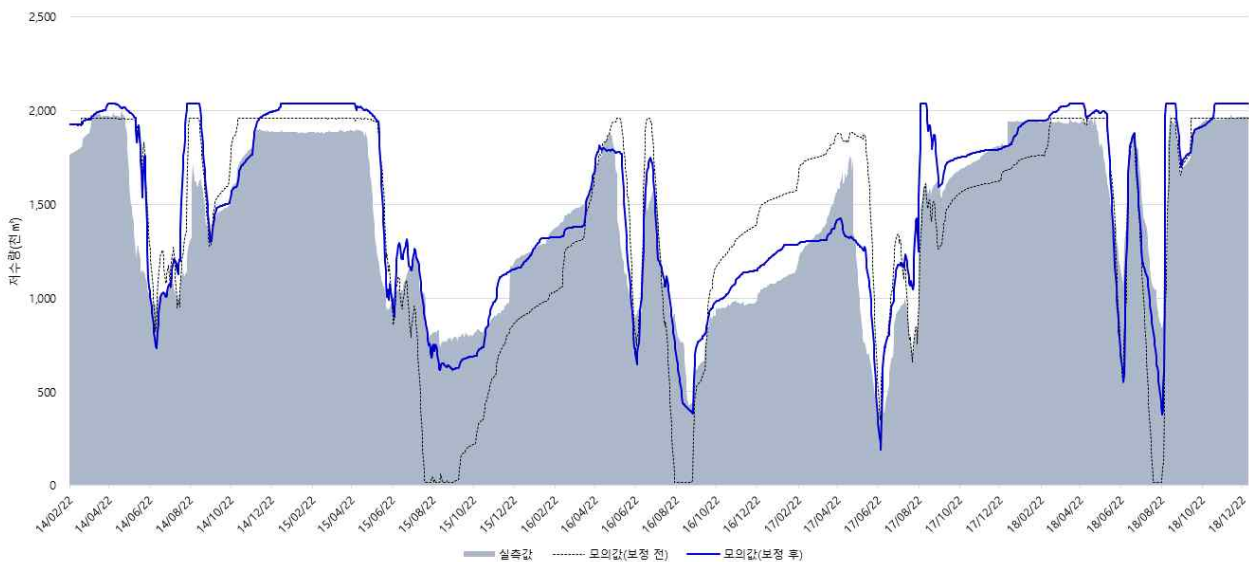
<K-HAS 저수량 최적화 목적함수>

• $\hat{S}_i = \hat{S}_{i-1} + c \times I_{i-1} - (a \text{ or } b) \times O_{i-1}$

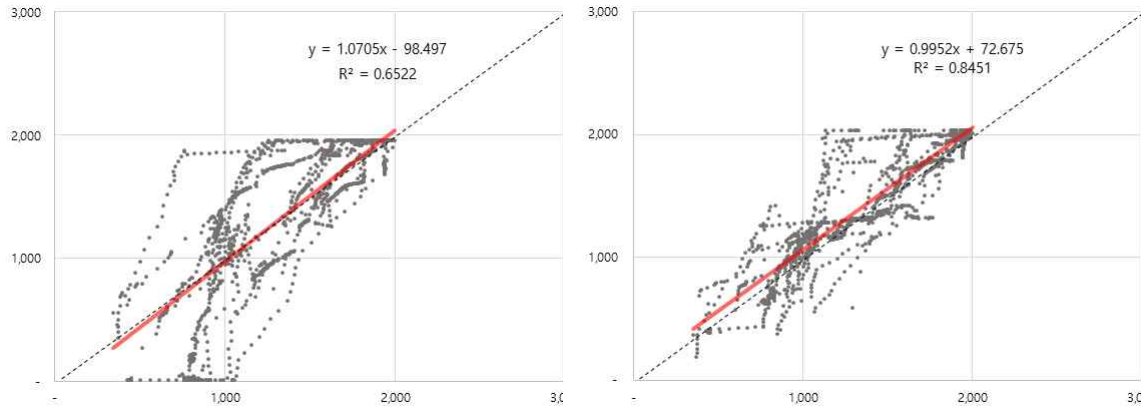
Input	Output
유효저수량(S_{max}), 사수량(S_{min})	a
K-HAS 일별유입량(I_i), 일별필요수량(O_i)	b
RIMS 일별저수량(S'_i)	c
	k

여기서, $\hat{S}_i = S_{max} (\hat{S}_i \geq S_{max})$ • $S_{Drought} = S_{max} \times k$
 $= S_{min} (\hat{S}_i \leq S_{min})$

- $0.1 \leq a \leq 1.0$
- $1.0 \leq b \leq 2.0$
- $0.1 \leq c \leq 2.0$
- $a_{month} = (\hat{S}_i < S_{Drought})$
- $b_{month} = (\hat{S}_i > S_{Drought})$



<저수지 저수율 비교(모의치vs.실측치)>



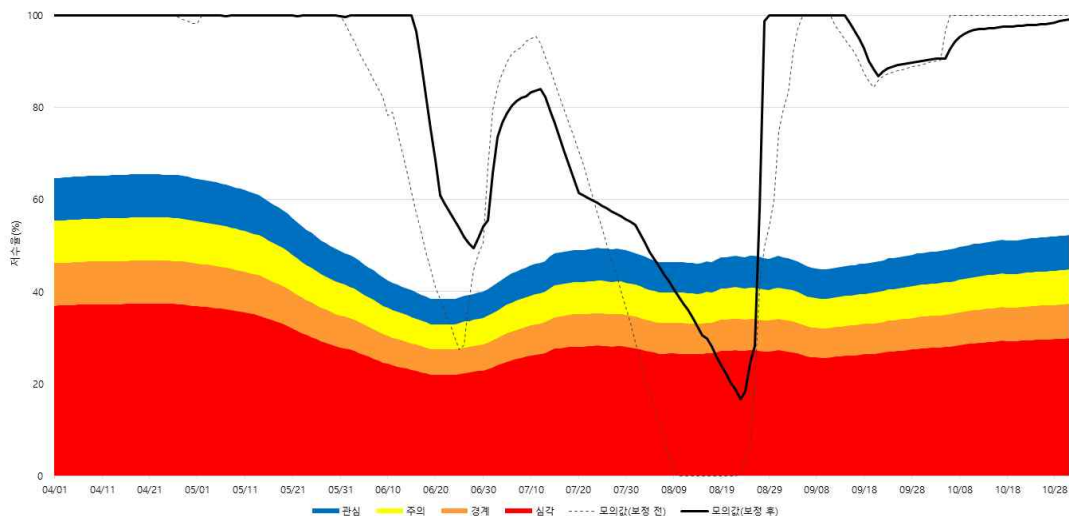
<저수율 모의치 비교(보정전 vs 보정후)>

2) 개선된 저수지 모의 모델을 활용한 농업가뭄 확산 예측

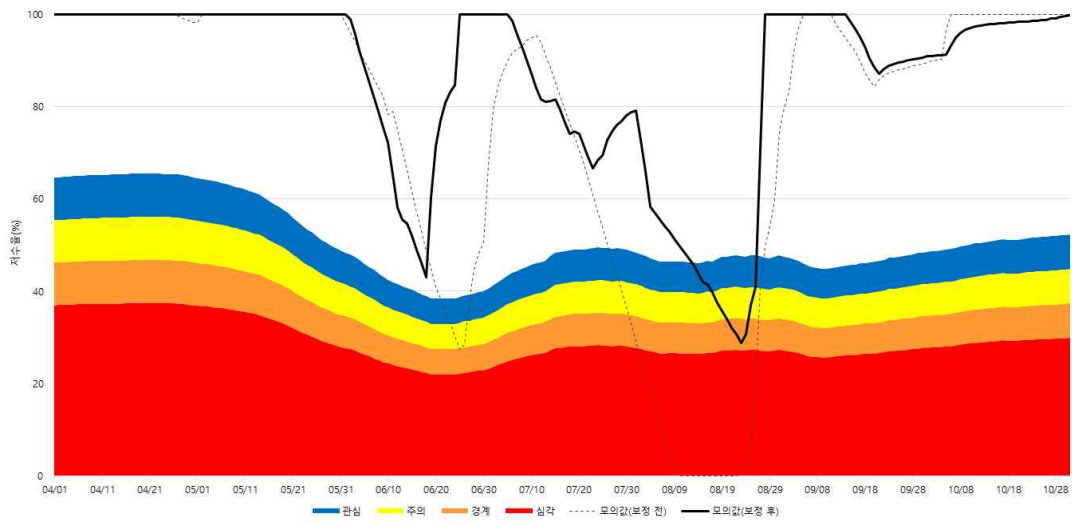
- 개선된 저수지 모의 모델을 활용한 농업가뭄 확산 예측 결과

- 특정 월 기준 저수율 과다 또는 과소 모의로 RDI 기반 불확실성 존재 : 저수율 관측자료 기반 모의 방안 개선 필요하다.

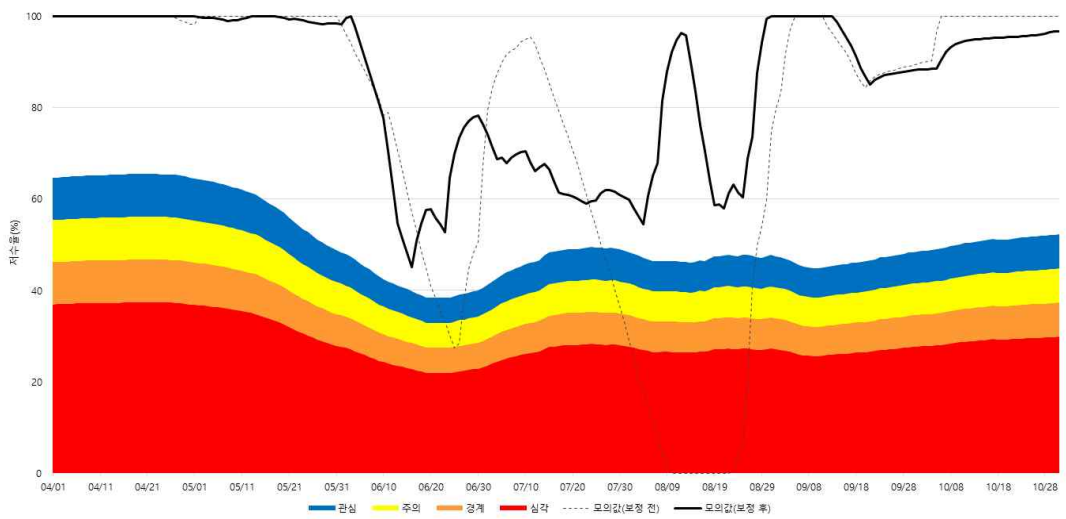
구분			가뭄일수				비고
구분	기후예측 기준월	가뭄예측기간	관심	주의	경계	심각	
예측	1월	1월 - 6월	21	17	13	8	
	2월	2월 - 7월	14	10	4	0	
	3월	3월 - 8월	0	0	0	0	
	4월	4월 - 9월	0	0	0	0	
	5월	5월 - 10월	0	0	0	0	
	6월	6월 - 10월	0	0	0	0	
실측치(4월 - 10월)			9	0	0	0	



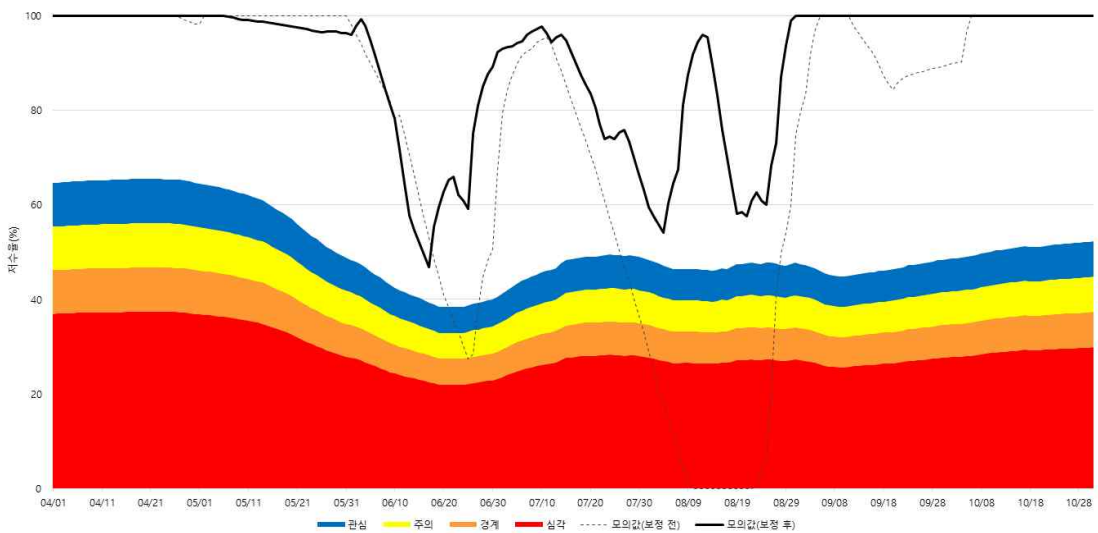
<중장기 기후 예측정보를 활용한 RDI 기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 1월)>



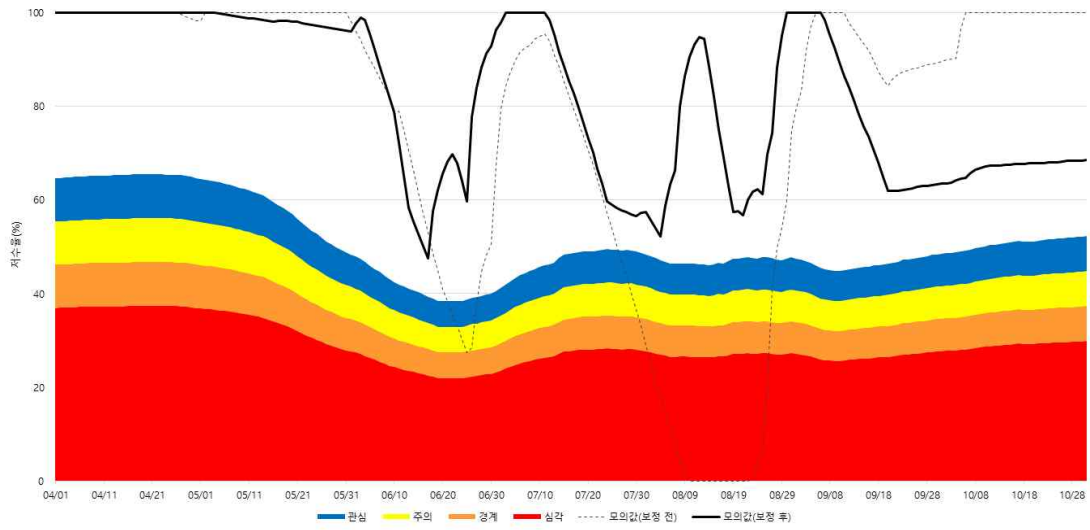
<중장기기후 예측정보를 활용한 RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 2월)>



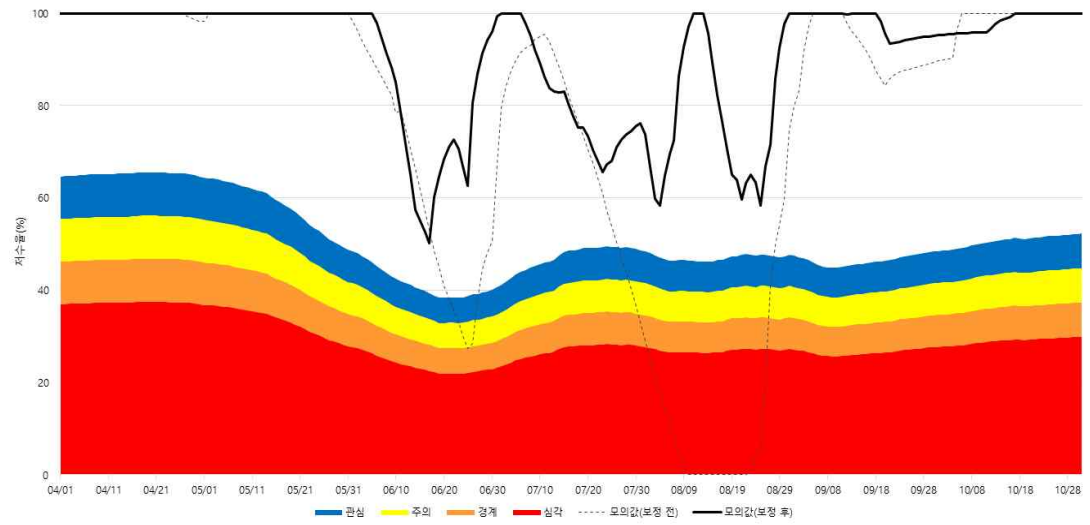
<중장기기후 예측정보를 활용한 RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 3월)>



<중장기기후 예측정보를 활용한 RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 4월)>



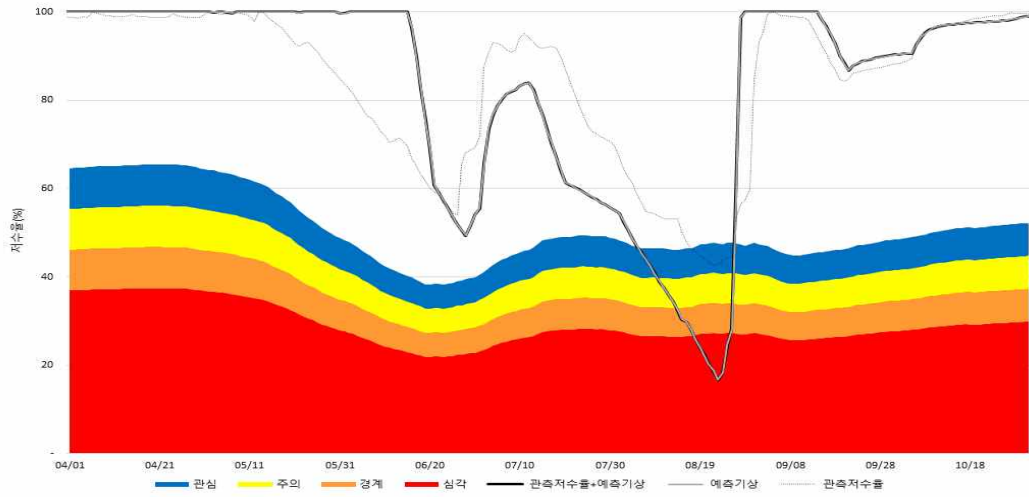
<중장기기후 예측정보를 활용한 RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 5월)>



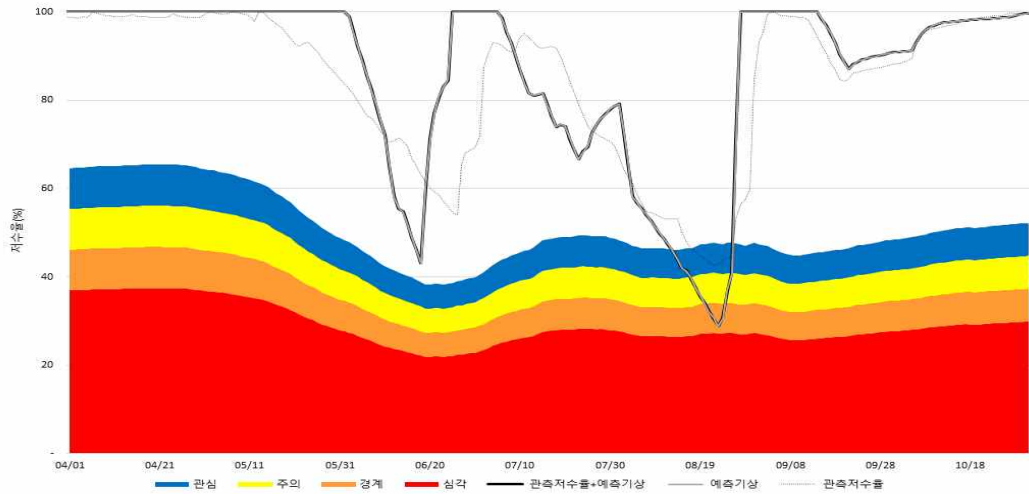
<중장기기후 예측정보를 활용한 RDI기반 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 6월)>

- 저수율 관측치 +개선된 저수지 모의 모듈을 활용한 농업가뭄 확산 예측 결과

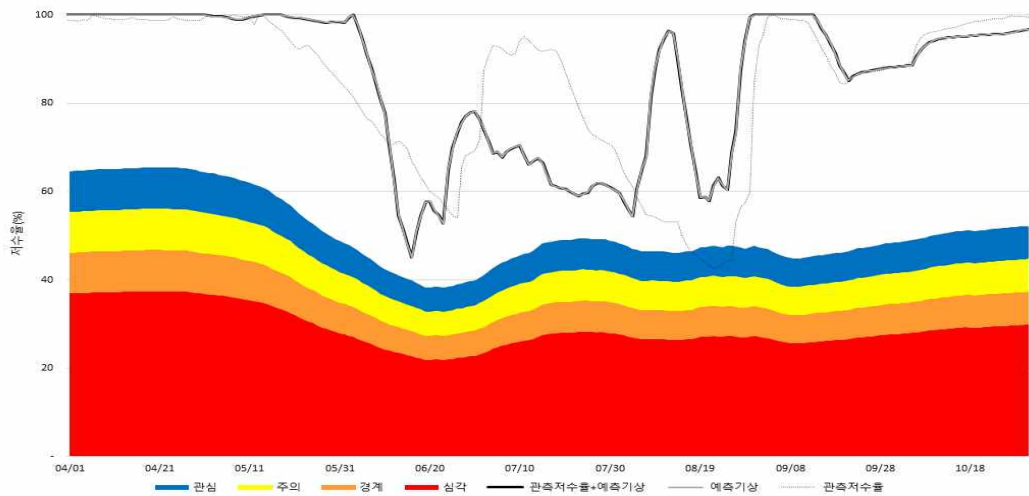
- 저수율 관측치 +개선된 저수지 모의 모듈을 활용한 저수율 모의하였다.



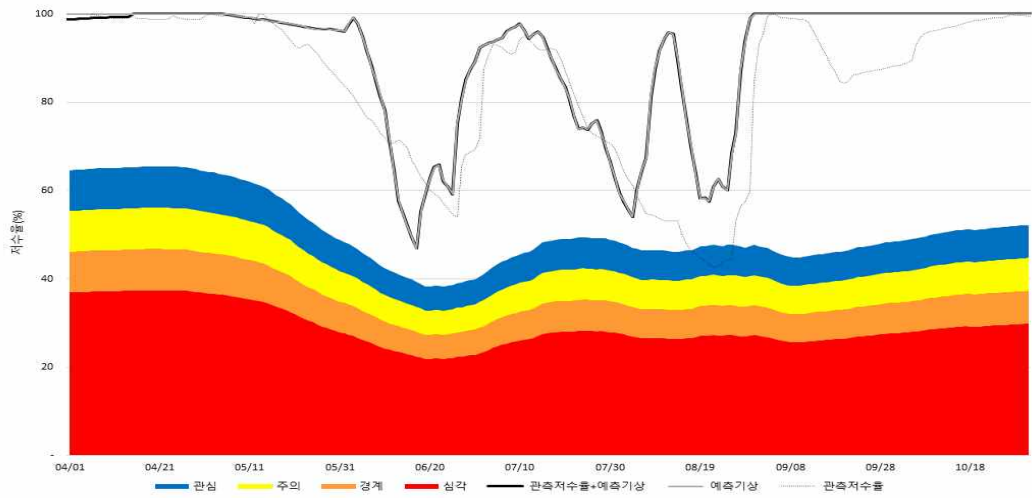
<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 1월)>



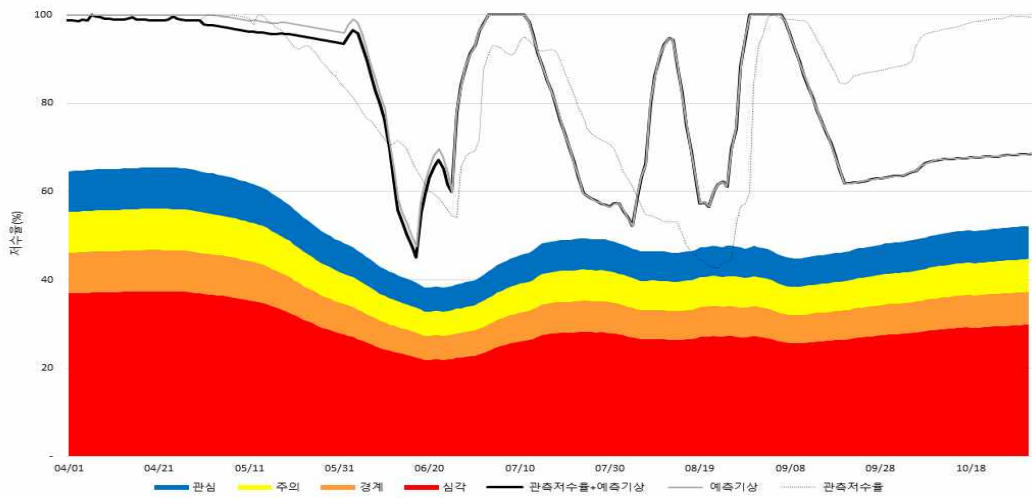
<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 2월)>



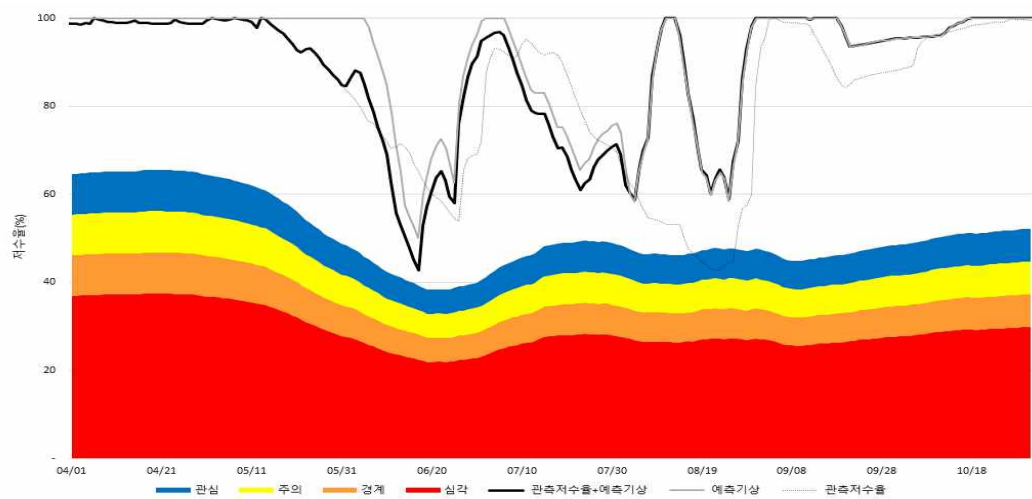
<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 3월)>



<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 4월)>



<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 5월)>



<저수율 관측치+개선된 저수지 모의를 통한 농업가뭄 확산 예측결과(2018년 6월)>

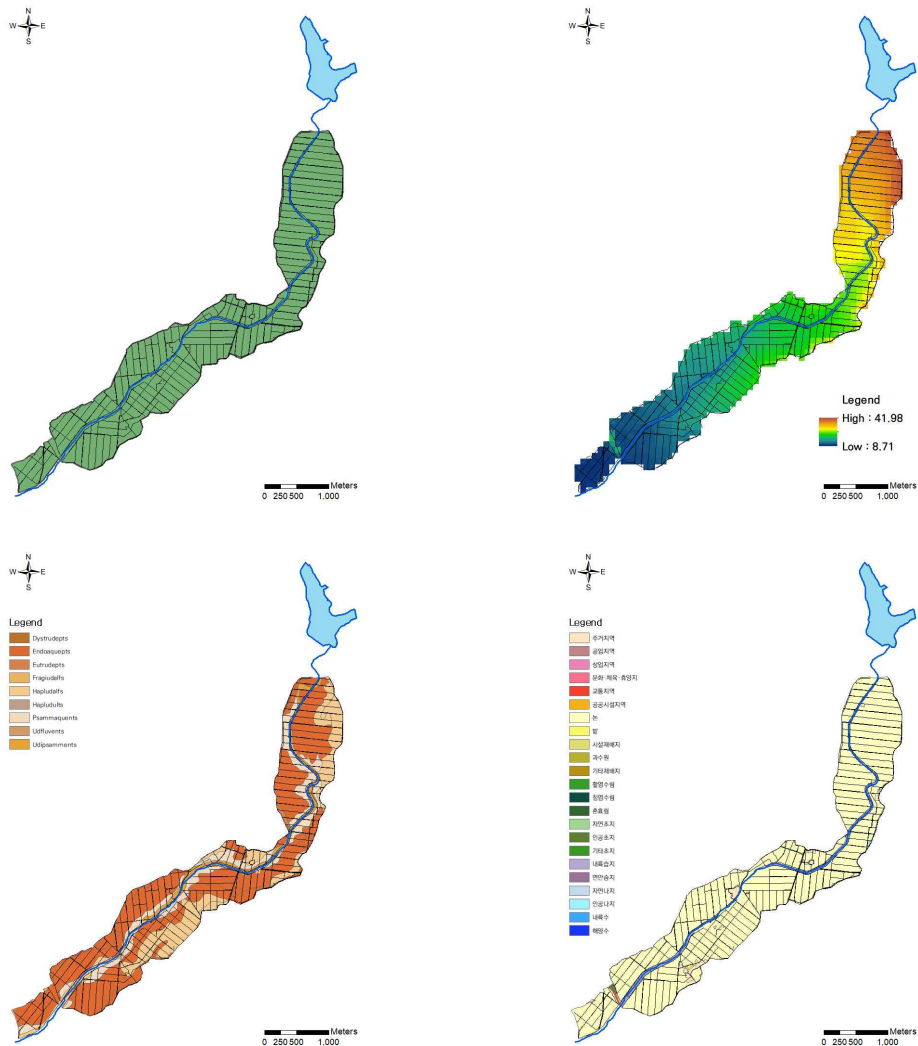
- 2018년 기준 개선된 저수지 모의 모듈을 활용한 가뭄일수와 동일한 결과를 보인다.

구분			가뭄일수				비고
구분	기후예측 기준월	가뭄예측기간	관심	주의	경계	심각	
예측	1월	1월 - 6월	21	17	13	8	
	2월	2월 - 7월	14	10	4	0	
	3월	3월 - 8월	0	0	0	0	
	4월	4월 - 9월	0	0	0	0	
	5월	5월 - 10월	0	0	0	0	
	6월	6월 - 10월	0	0	0	0	
실측치(4월 - 10월)							

3) 분배 측면을 고려한 농업용수 사전관리 및 피해저감 요소기술 적용을 위한 현장 조사 분석

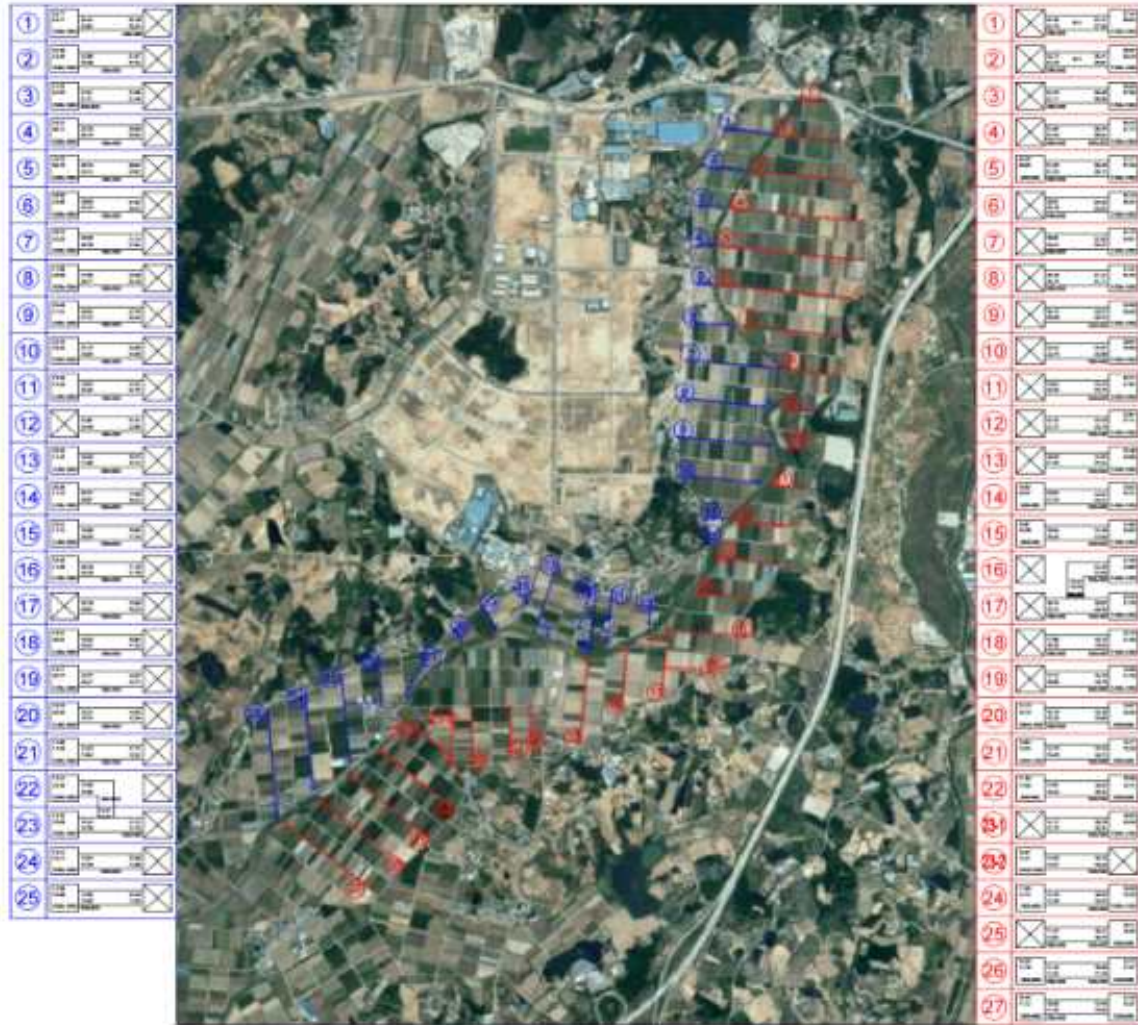
- 농업용수 수혜구역 자료 구축

- GIS 분석을 통한 수혜구역 지형, 토양 자료 구축



<대상저수지 수혜구역 지형, 토양 조사>

- 농업용수 배분수로 측량(용수간선 및 지선)



<GPS를 활용한 수로 측량 현황>

- 농업용수 배분 모의를 위한 수로 지점별 유량 조사



황궁저수지 2간선											
* 자료: 수로 노선											
No.	지점명	측정 시간	개기 크기 높이 너	개기 크기 높이 너	수심 (m)	유속 구간	개기 크기 높이 너	개기 크기 높이 너	유량 (m ³ /s)	유속 (m/s)	유속 차별
1	특동수위계	1008	1.3	1.3	0.50	L 0.37 C 0.41 R 0.33					L C R
2	2간선-1	1114	1.3	1.3	0.44	L 0.40 C 0.46 R 0.43	0.5	0.5			L C R
3	2간선-2	1122	1.3	1.3	0.38	L 0.40 C 0.46 R 0.31	0.5	0.5			L C R
4	2간선-3	1139	1.3	1.3	0.44	L 0.32 C 0.41 R 0.39	0.5	0.5			L C R
5	2간선-4	1145	1.3	1.3	0.50	L 0.78 C 0.39 R 0.34	0.8	0.5			L C R
6	2간선-5	1155	1.3	1.3	0.38	L 0.25 C 0.35 R 0.33	0.4	0.5			L C R
7	2간선-6	1210	1.3	1.3	0.37	L 0.27 C 0.40 R 0.31	0.6	0.6	0.30		L 0.29 C 0.24 R 0.18
8	2간선-7	1215	1.3	1.3	0.21	L 0.37 C 0.75 R 0.66	0.8	0.6			L C R
9	2간선-8	1229	1.3	1.3	0.20	L 0.64 C 0.68 R 0.72	0.8	0.3			L C R
10	2간선-9	1232	1.3	1.3	0.25	L 0.67 C 0.82 R 0.77	0.3	0.5			L C R
11	2간선-10	144	1.3	1.3	0.18	L 0.59 C 0.76 R 0.80	0.5	0.5			L C R
12	2간선-11	157	1.3	1.3	0.20	L 0.81 C 0.76 R 0.59	0.5	0.5			L C R
13	2간선-12	205	1.3	1.3	0.20	L 0.88 C 0.66 R 0.59	0.5	0.5			L C R
14	2간선-13	211	1.3	1.3	0.19	L 0.48 C 0.71 R 0.67	0.5	0.5			L C R
15	2간선-14	215	1.4	1.2	0.45	L 0.37 C 0.62 R 0.42	0.5	0.5			L C R
16	2간선-15	220	1.4	1.3	0.38	L 0.51 C 0.55 R 0.44	0.5	0.5			L C R
17	2간선-16	231	1.4	1.2	0.38	L 0.19 C 0.23 R 0.47	0.3	0.5	0.09		L 0.30 C 0.35 R 0.33
18	2간선-17	244	1.4	1.2	0.52	L 0.30 C 0.33 R 0.28	0.4	0.4	0.14		L 0.46 C 0.51 R 0.39
19	2간선-18	251	1.4	1.3	0.41	L 0.28 C 0.31 R 0.32	0.5	0.5			L C R

<지점별 유량조사 현황 및 결과>

마. 농촌 현장문제 해결을 위한 리빙랩 체계 고도화

○ 분야별 영향예보 체계와의 기술적 연계성 확보 및 정보전달 체계 구축

1) 1차년에 구축된 리빙랩 프로젝트 페이지를 활성화

- 연구진행 상황 게시판을 각 분야별로 세분화 하여 관련 내용 검색이 용이하게 변경하였다.
 - 논문, 학술발표, 홍보전시 등
- 구축된 리빙랩 프로젝트 페이지를 통한 연구진 간의 활발한 의견 교환하였다.
 - 논문 발표 내용, 홍보 내용 등 각종 게시물 45건 등록

내용	작성자
[Notice - [공지] 데이터 공유 및 게시판관련 정보 공지합니다.] 안녕하세요? 나노웨어 오지원입니다. 전북지역만 추출한 예측데이터 샘플을 메일로 다시 보내드렸습니다....	오지원
[의견 공유 - [공지] 데이터 수집 형식 공지] 자료는 각 기관에서 저희가 제공한 지정별 데이터를 가공하여 보내주시는것이 어렵다 판단하여 제공하는 Ne...	관리자
[의견 공유 - [공지] 데이터 수집 형식 공지] 혹시 자료가 언제쯤 완성될까요? 일정을 알려주시면 감사하겠습니다.	유역-이성학
[의견 공유 - [공지] 데이터 수집 형식 공지] 의견 감사합니다. 게시판에 생기가 도는것 같습니다. NetCDF로 격자를 만들수 있는지 확인해보고 가능하면...	관리자
[의견 공유 - [공지] 데이터 수집 형식 공지] 유역통합관리연구원입니다. 혹시 예제 NETCDF 파일을 하나 주실수 있나요? 저희 격자와 달라서 비교해보야...	유역-이성학
[의견 공유 - 의견공유 게시판입니다.] 박사님 안녕하세요? 올려주신 댓글을 의견 게시물로 올렸습니다.	관리자
[의견 공유 - 의견공유 게시판입니다.] 축산고온스트레스모델, 작물모델, 용수모델 등의 입력자료로 들어가는 기상/기후자료는 글로벌 스탠다드 및...	이승재
[의견 공유 - 의견공유 게시판입니다.] 리빙랩 홈페이지 개통해 주셔서 감사합니다. 많은 이야기가 홈페이지를 통해 공유되면 좋을 것 같아요.	조재필

<리빙랩 프로젝트 페이지의 연구진 간 의견 교환 내용>

- 기상기후산업 박람회를 통한 동영상 등의 홍보게시물을 리빙랩 사이트에도 공유하여 박람회 이후에도 연구진/업체 홍보게시물을 지속 홍보 가능하다.

Living Lab 농촌 현장문제 해결을 위한 수요자 참여기반 지역 맞춤형 영향예보 서비스 체계 구축

기상기후산업박람회: 국가농림기상센터 - 농림축산분야에 특화된 지면대기모델링패키지(LAMP) 서비스

김정혁
조회수 10 · 2021. 10. 13. 13:08:45

(재) 국가농림기상센터: <https://youtu.be/wuQ1F5su-Ek>

<리빙랩 프로젝트 페이지의 홍보게시물 공유>

2) 외부 프로젝트 구성원 (현장 종사자, 외부기관 관련자 등)의 온라인 가입을 통해 다양한 수요 및 성과 정보를 공유할 수 있는 기반 확대

- 서비스 오픈이 되는데로 서비스를 공유할 현장 농업/축산인들을 대상으로 이벤트 진행하여 온라인 회원가입 / 의견 수렴 - 농축산인 섭외 가능 업체 통해서 진행중이다(11월말까지 완료 예정)
 - 11월말 기준 100 명 이상의 현업자 등록 완료 (최소 가입 인원)
 - ** 건의 의견 게시
- 2단계 1차년도 연구 진행으로 현장 농축산인에게 실질적인 도움이 되는 서비스로의 발전을 위한 기반 마련하였다.

○ 서비스를 위한 데이터 관리 체계 및 수집, 표출 설계 / 구축

1) 서비스 시스템을 위한 서버 도입 / 구축

- 시스템 구축을 위한 서버 도입



<시스템 서버 구축 장비>

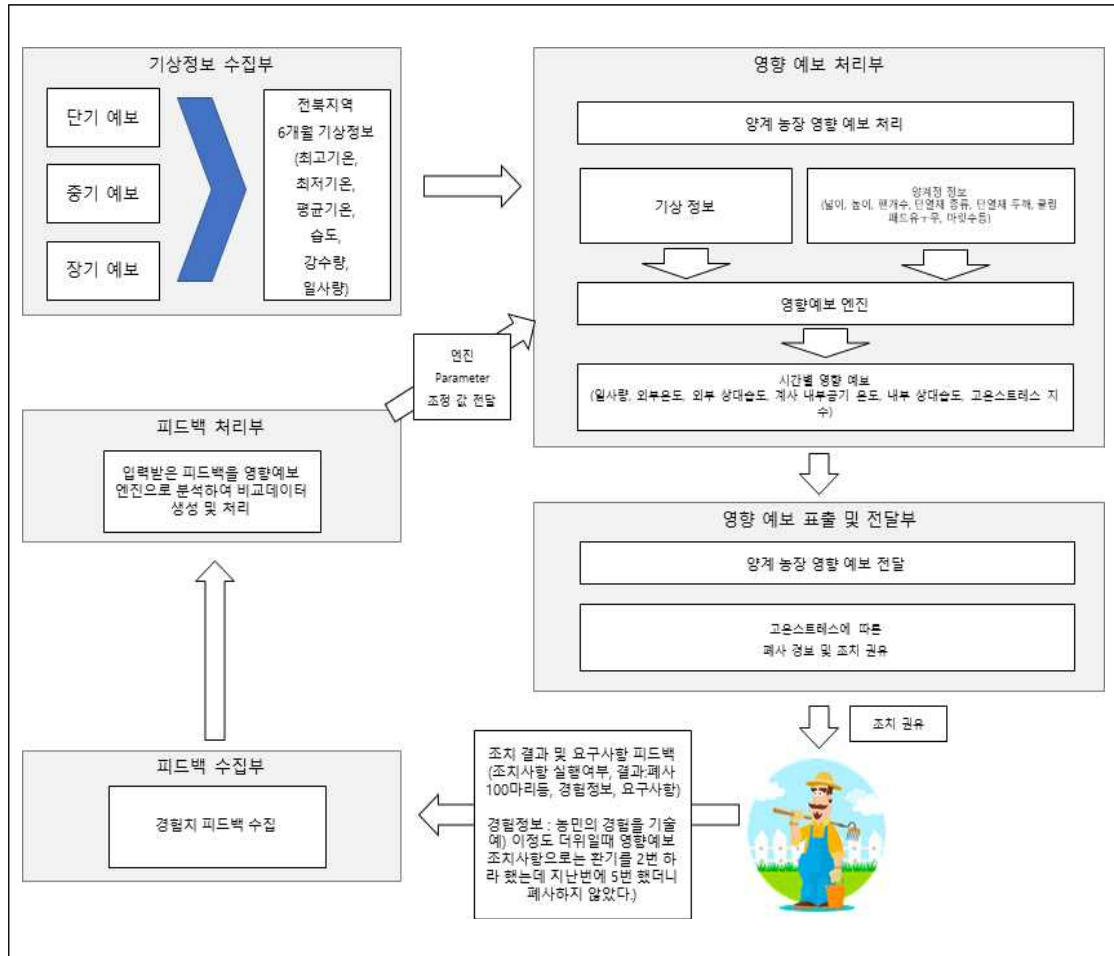
<서버 사양 및 소프트웨어 설치 현황>

항 목	사 양	비 고
Model	HPE ProLiant DL360 Gen10 4208 2.1GHz 8-core 1P 16GB-R S100i NC 4LFF 500W PS Server	
Processor	Intel Gen10 4208 2.1GHz 8-core x 2	16core
Memory	HPE 16GB 1Rx4 PC4-2933Y-R Smart Kit x 4	64GB
Storage	HPE 480GB SATA RI SFF SC 5300P SSD x 2	RAID1
	HPE 6TB SATA 6G Midline 7.2K LFF (3.5in) SC 1yr Wty 512e HDD x 2	RAID1
OS	Ubuntu 20.04 Server	
Database	Maria DB	
Web Server	Apache	
WAS	Tomcat	
Dev. tool	Open JDK, Python	
관리	Git, Jenkins, Docker	배포 자동화

- 개발물의 자동 배포를 구현하였으며 모델 구동 및 서비스 확장을 위하여 고성능 서버로 구성하였다.

1) 연구 결과를 활용한 현업 서비스 설계 / 구축

- 목표 서비스 구성도



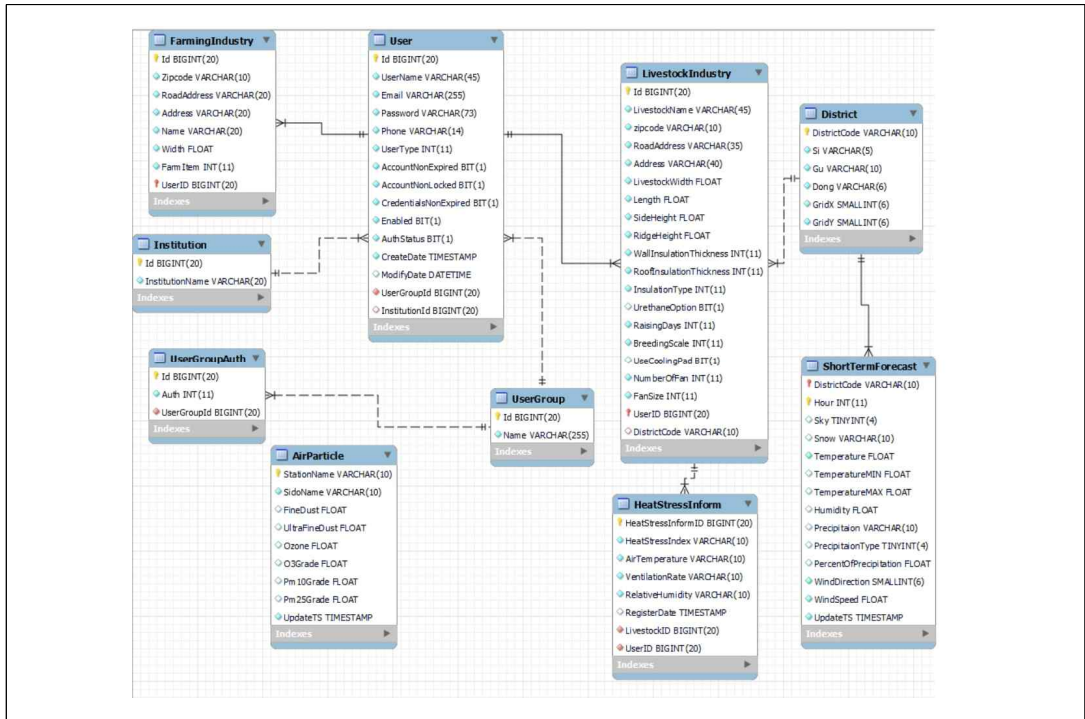
<정보 제공 서비스 구성도>

- 기상정보 수집부

- 각 기관으로부터 정기적으로 예보자료를 수집하여 시스템에서 필요로 하는 정보로 전처리 후 데이터베이스에 저장하였다.
 - a. 수집 주기 : 각 기관별 데이터 변경시 즉시 처리
 - b. 데이터 베이스 스키마

- 가축 고온스트레스 영향예보 처리부

- 수집 및 처리된 예보정보와 축사 정보를 바탕으로 고온스트레스 지수에 따른 영향예보를 산출하여 데이터베이스에 저장하였다.
 - a. 정보 제공 기간 : 산출일로부터 2일
 - b. 산출 정보



Name	단위	설명
Number		1년 8760시간 중 해당 시간 순서
Date		연산 일자
Time		연산 시간
Global Radi	W/m2	일사량
Outdoor_T	°C	외부 온도
Outdoor_H	%	외부 상대습도
Broiler_T	°C	계사 내부 공기온도 연산값
Broiler_H	°C	계사 내부 상대습도 연산값
Broiler_Index		고온스트레스 지수 연산값

- 영향예보 표출 및 전달부
처리된 영향 예보 정보를 시간별 정보로 시각화 하여 표출하며 영향예보 산출 시 사용자에게 SMS로 통보한다.
- 피드백 수집부
영향예보를 수신한 사용자들의 의견을 SMS로 수신한다.
- 피드백 처리부
수신된 의견을 취합하여 영향예보 산출을 위한 값에 반영여부를 판단하고 필요에 따라 반영한다.

- 수집 정보

- 단기 기상 예측 정보
 - 정보 제공 주기 : 주 2회(일요일, 수요일)
 - 정보 제공 기간 : 12일 기상 예측

c. 제공 정보

Name	Data	Description	Unit
T2	24.1	2m 높이 기온	°C
U10	-0.5	10m높이 동서바람	m/s
V10	1.8	10m높이 남북바람	m/s
SWDOWN	63.8	일사량	(W/m ²)
RH	73.2	2m높이 상대습도	(%)
RAIN	203.9	누적강수(RAIN_Accumulated), 시간당 강수 (RAIN_Hourly)	mm
SMOIS1	0.3	10cm깊이 토양수분	m ³ /m ³
SMOIS2	0.3	40cm깊이 토양수분	m ³ /m ³

d. 제공 형식 : NetCDF

- 중기 기상 예측 정보

- a. 정보 제공 주기 : 1일 1회
- b. 정보 제공 기간 : 45일 기상 예측
- c. 제공 정보

Name	Data	Description	Unit
lat	840	-	
lon	840	-	
time	UNLIMITED	-	
TAVG	(time,lat,lon)	일 평균 기온	°C
TMIN	(time,lat,lon)	일 최저 기온	°C
TMAX	(time,lat,lon)	일 최고 기온	°C
TOT_RAIN	(time,lat,lon)	daily total of rainfall	mm
DU_RAIN	time	rainfall duration	hours
U10_AVG	(time,lat,lon)	일 평균 10M U-COMPONENT	m/s
V10_AVG	(time,lat,lon)	일 평균 10M V-COMPONENT	m/s

d. 제공 형식 : NetCDF

- 장기 기상 예측 정보

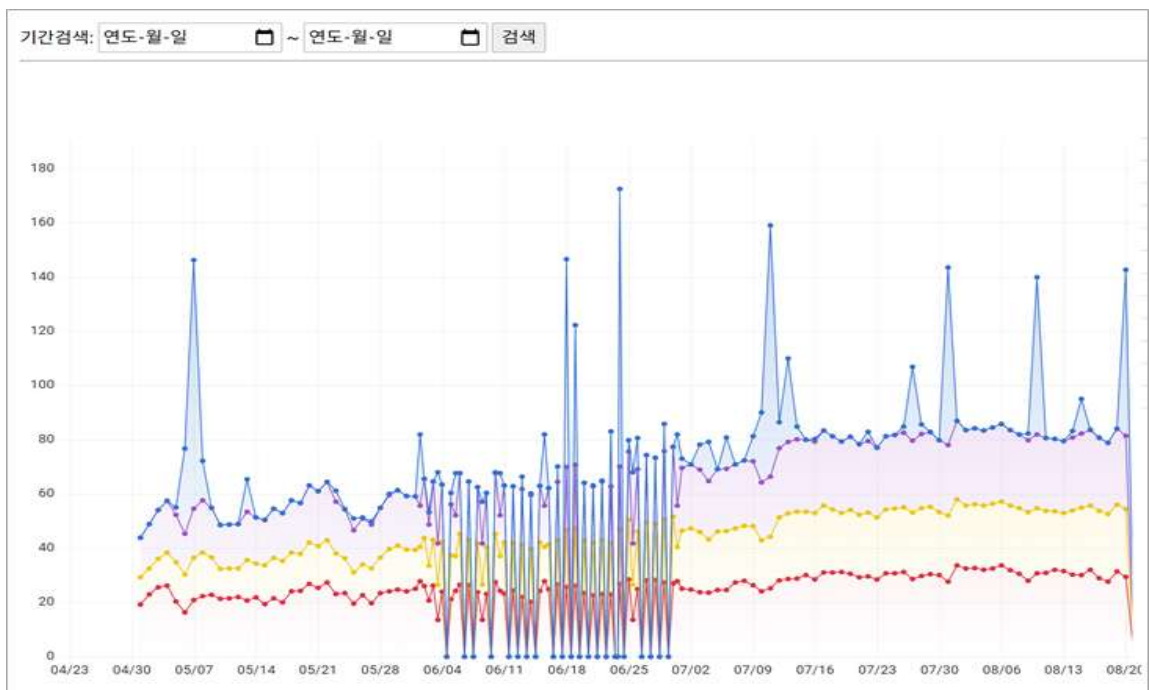
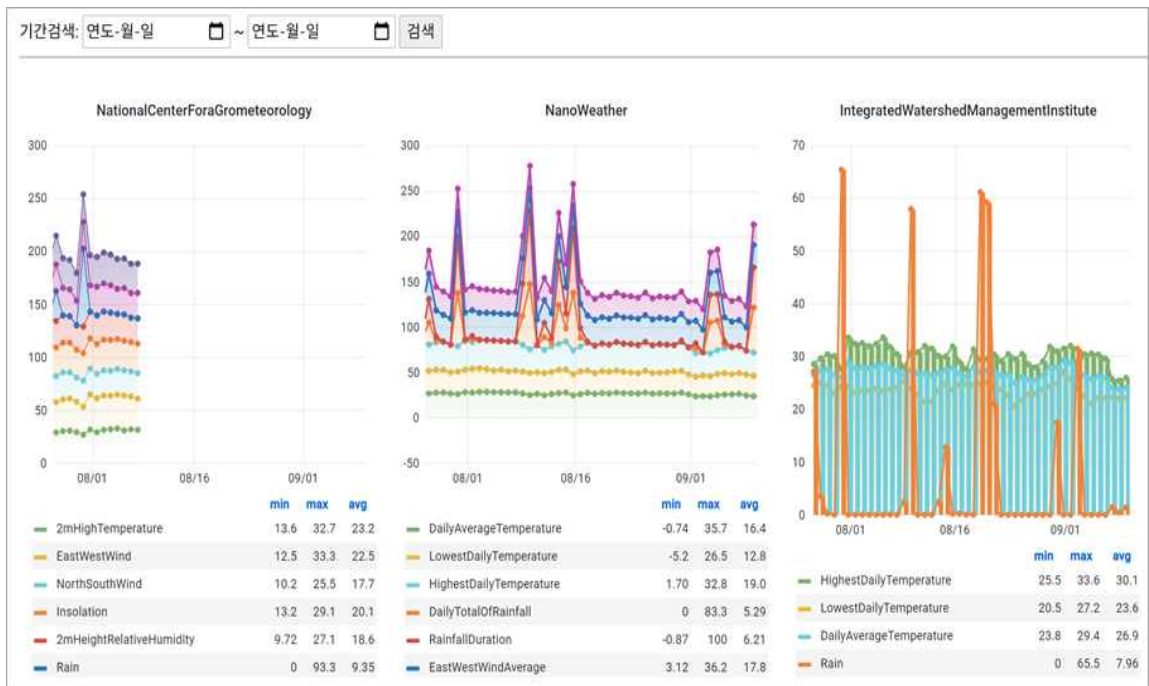
- a. 정보 제공 주기 : 월 1회
- b. 정보 제공 기간 : 180일 기상 예측
- c. 제공 정보

Name	Data	Description	Unit
lat	840	-	
lon	840	-	
TAVG	21.3	일 평균 기온	°C
RAIN	10	daily total of rainfall	mm
EDI		Effective Drought Index	

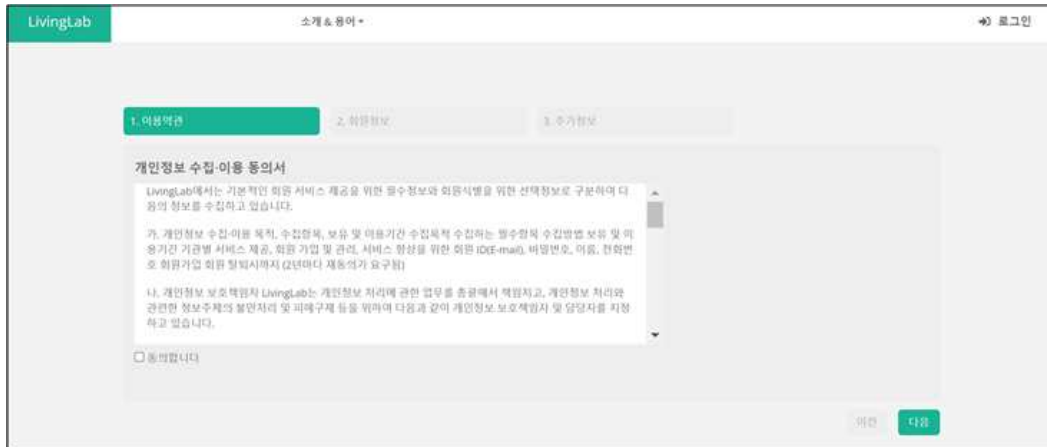
d. 제공 형식 : CSV

- 수집 정보 가시화

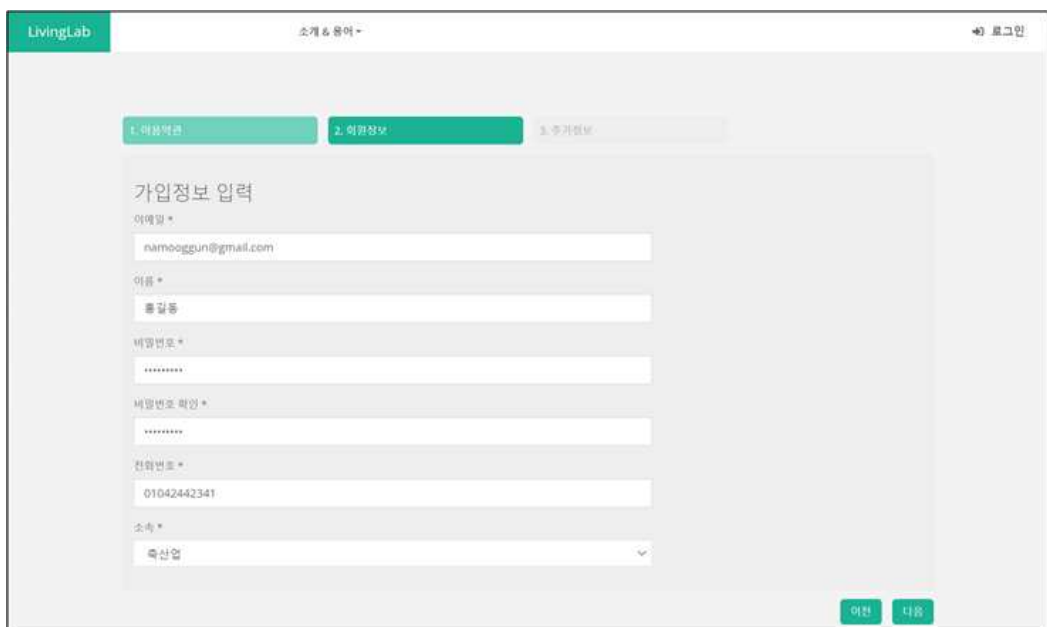
- 각 기관별 수집된 정보를 단기, 중기, 장기 데이터를 나누어 표출하고 심리스(seamless) 처리하여 가시화 함



- 온라인 가입 서비스 구축



- 개인정보 수집에 따른 동의 화면

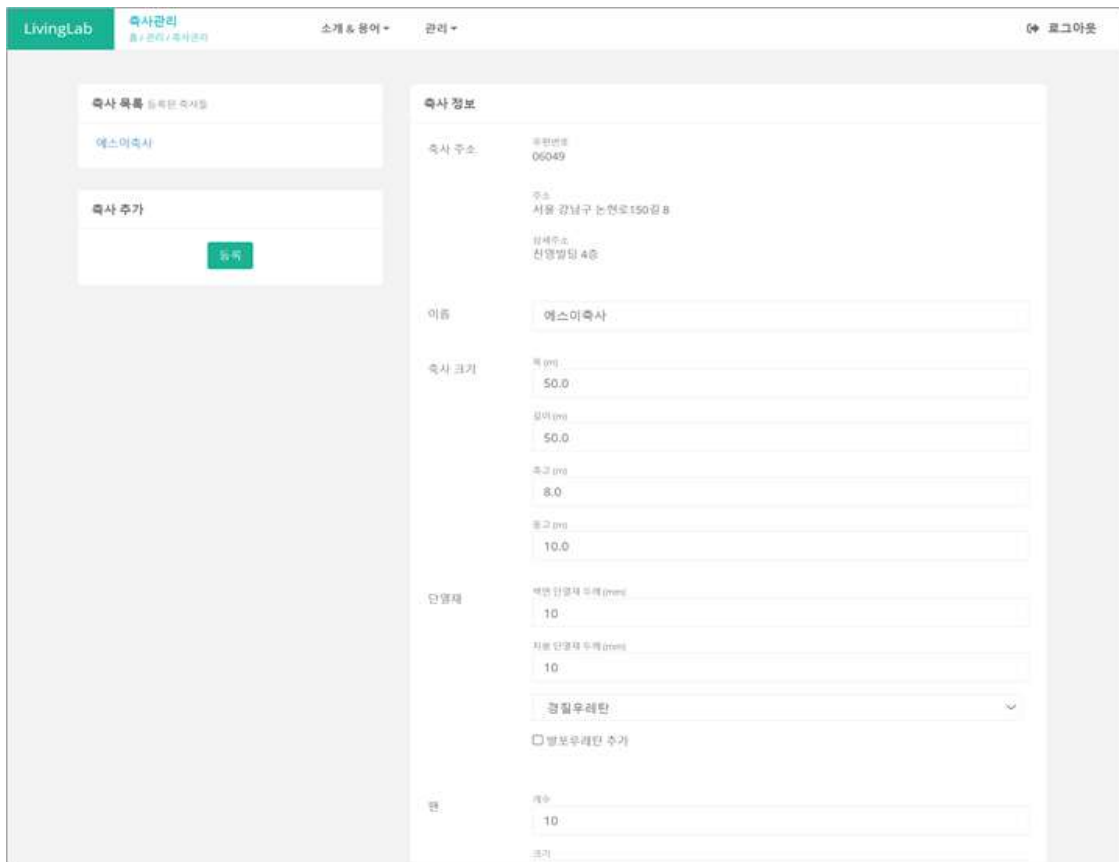


- 회원 정보는 최소한으로 수집하여 개인정보 과잉 수집방지한다.



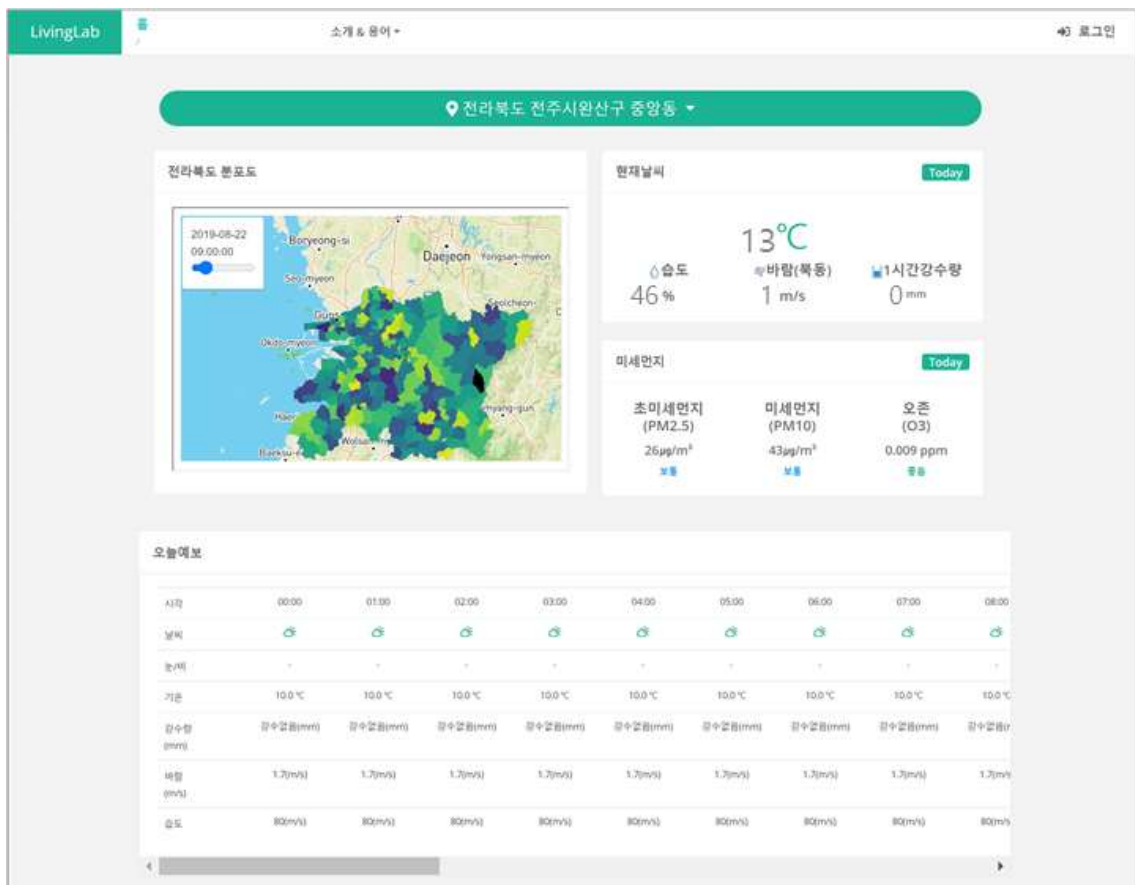
- 축산업자의 경우 소유한 축사 정보를 입력받아 영향예보 생성에 필요한 정보 수집한다.

- 축사 정보 관리 화면



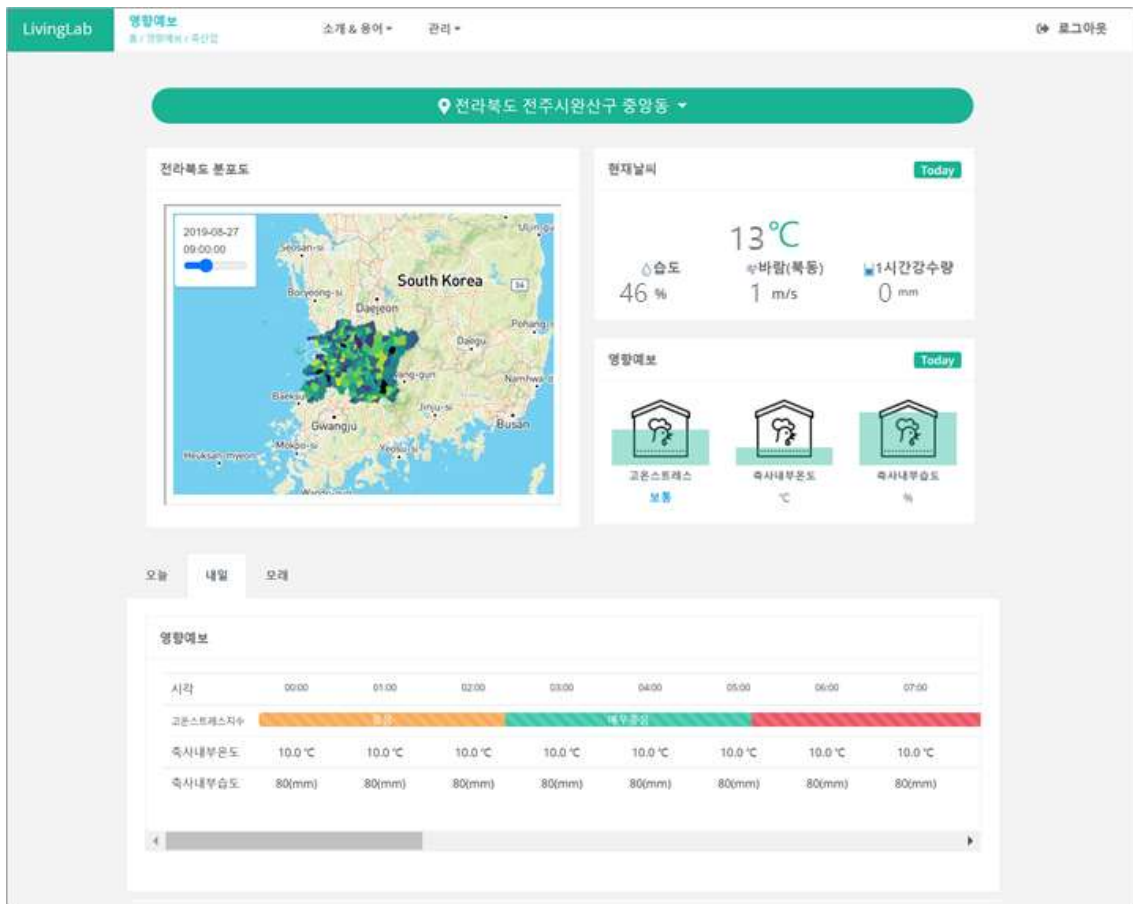
- 복수의 축사를 가지고 있는 경우 축사 정보를 추가할 수 있도록 화면 제공한다.

- 전북지역 현재 기상정보 화면



- 로그인을 하지 않은 경우 전북 날씨정보를 제공하는 화면

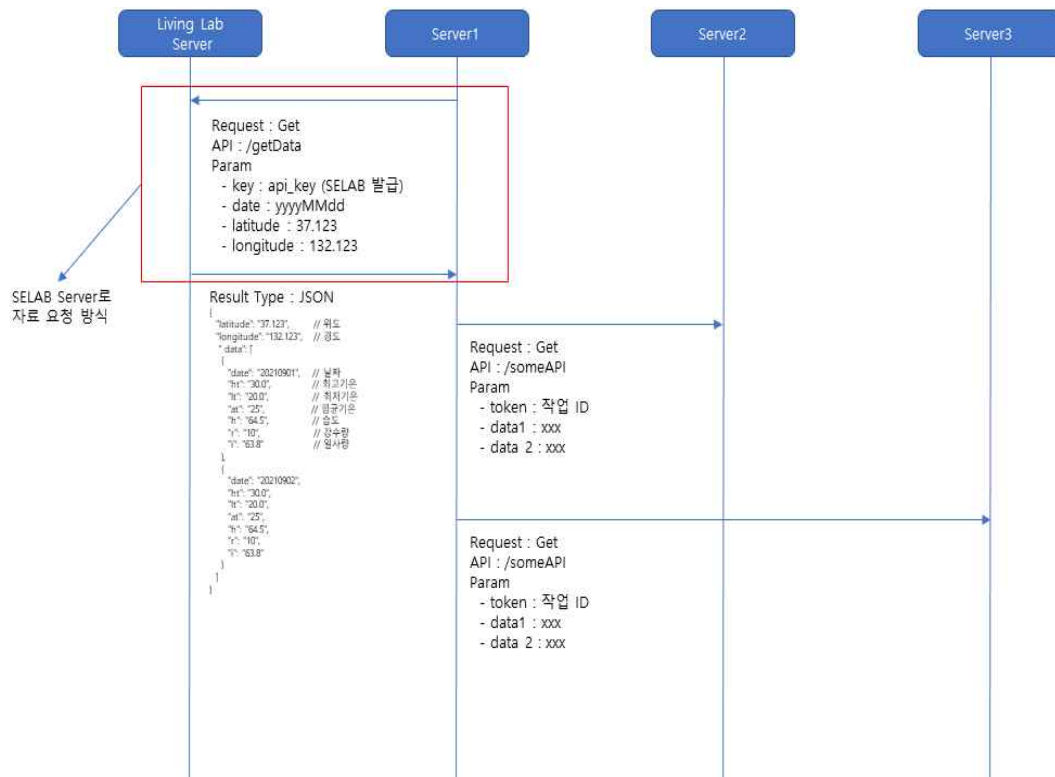
- 축산농가 영향예보 화면



- 축산업 종사자의 경우 자신이 입력한 축사에 대한 영향예보 화면 제공한다.

- 농작물 가뭄피해 저감을 위한 모바일 앱 기반 의사결정 지원시스템에 기상정보 제공

- 정보제공 흐름도



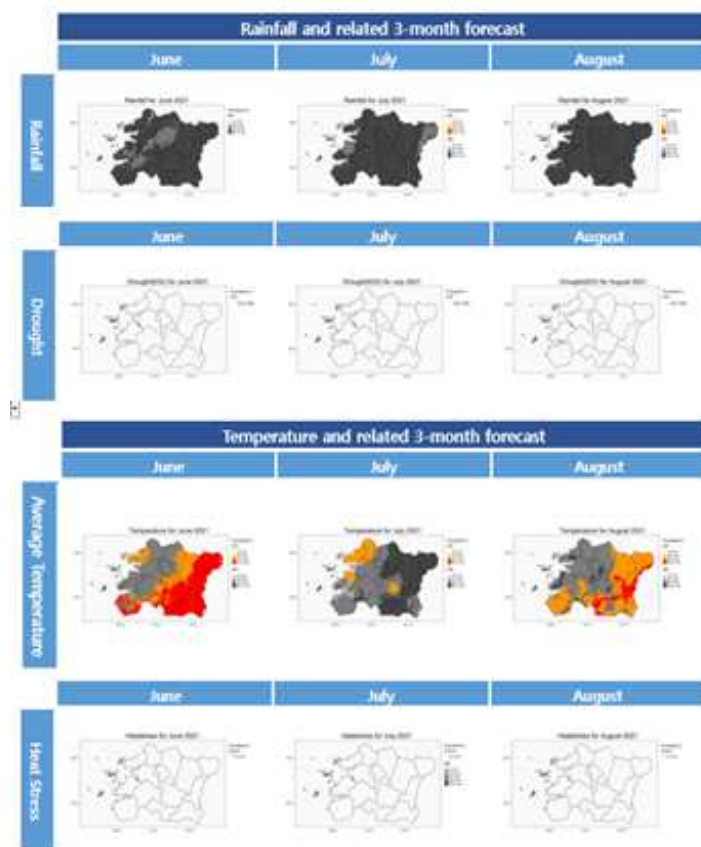
- 정보 제공 형식 : JSON

```

{
  "latitude": "37.123", // 위도
  "longitude": "150.123", // 경도
  "data": [
    {
      "date": "20210901", // 날짜
      "ht": "30.0", // 최고기온
      "lt": "20.0", // 최저기온
      "at": "25", // 평균기온
      "h": "64.5", // 습도
      "r": "10", // 강수량
      "i": "63.8" // 일사량
    },
    {
      "date": "20210902",
      "ht": "30.0",
      "lt": "20.0",
      "at": "25",
      "h": "64.5",
      "r": "10",
      "i": "63.8"
    }
  ]
}

```

- 중장기 기후예측정보를 활용한 농업용수 관리 표출



3) 서비스 기반 특허 출원

- 현재 출원 진행 중이며(11월 내 완료 예정) / 출원문서 완료 되는대로 업데이트 예정이다.
- 제목 : “폭염에 의한 가축 폐사 감소를 위한 안내 시스템 (가칭)”

2-3. 3차년도 (2022)

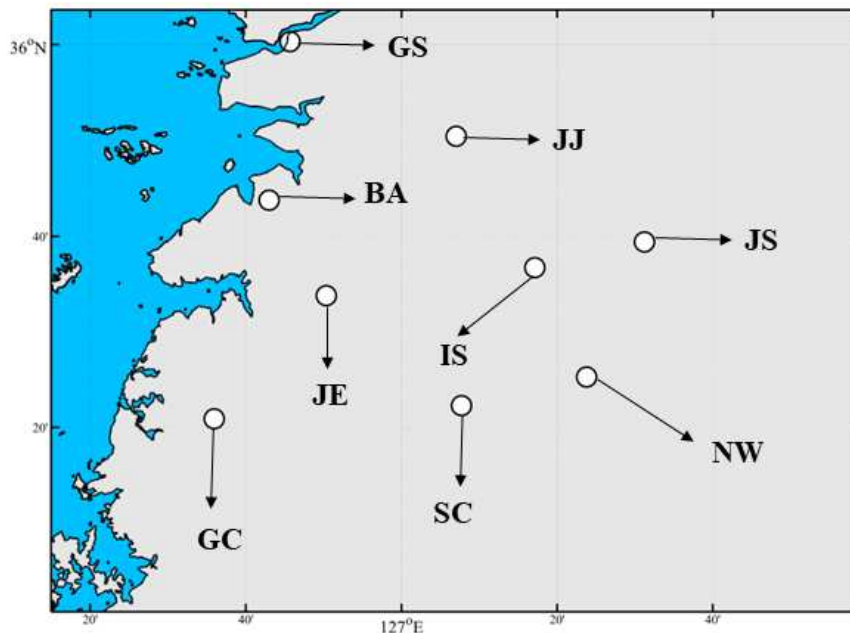
가. 다중규모 예측 정보 생산을 위한 현업 운영체계 안정화 및 리빙랩 기반 활용성 평가

○ 다중규모 고해상도 예측을 위한 현업 운영체계 안정화

1) 4차원 자료동화 기법의 적용 및 예측 시스템 개선

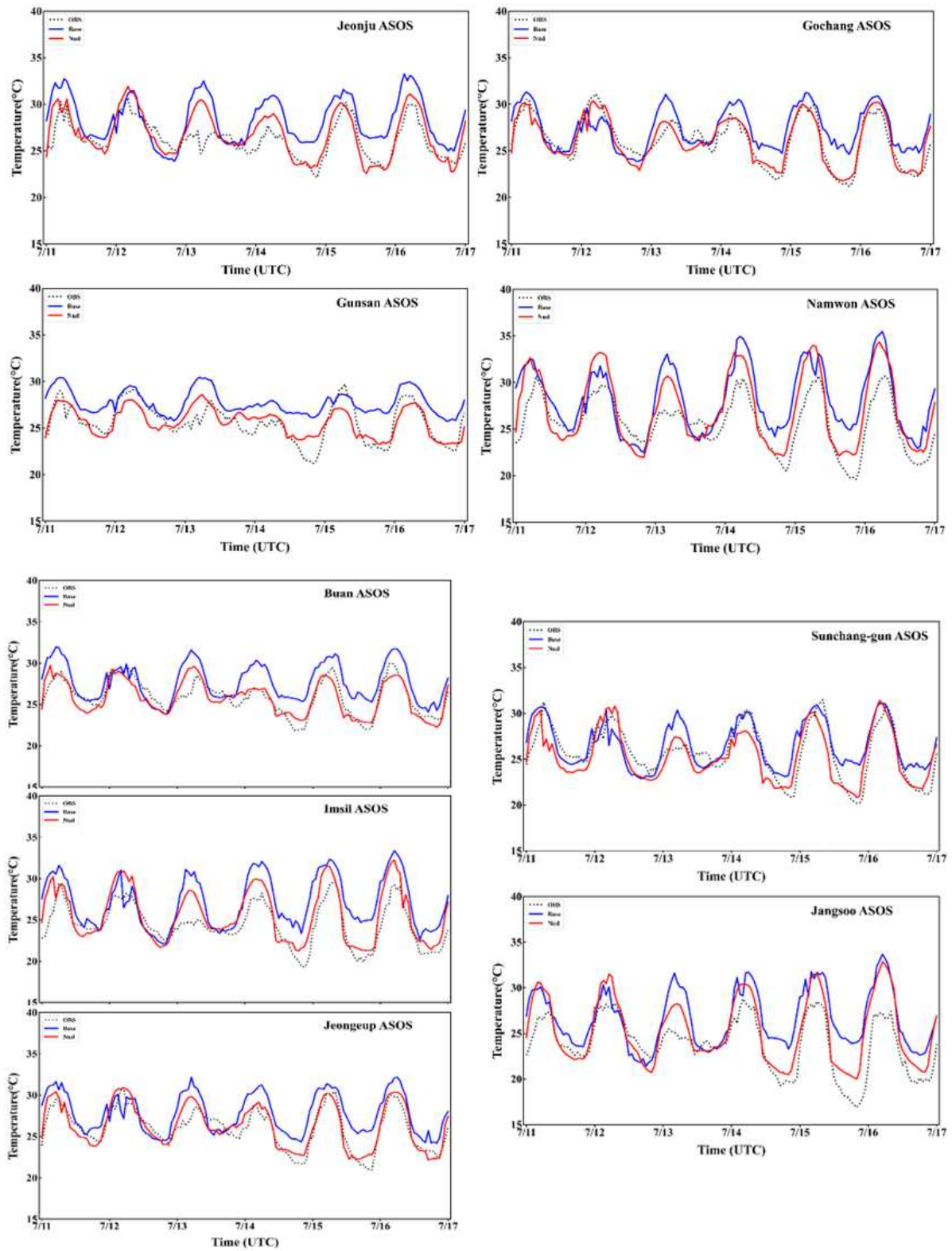
- 분석 넷징 기법

- 4차원 자료동화 중 분석 넷징 기법은 기존 배경장의 격자점과 관측값과의 차이를 구하여 새로운 초기장의 격자점으로 내삽하는 방법이다.
- Otte (2008)은 기상모델의 분석 넷징을 적용한 수치모의 결과가 분석 넷징을 적용하지 않은 결과에 비해 기상요소 모의 정확도가 향상됨을 확인하였고, Lee et al. (2009)은 기상 관측 및 MODIS 위성자료를 이용한 분석 넷징과 관측 넷징을 적용하여 기상모델을 개선하였으며, Kim et al. (2016)은 2012년 봄철 오존 수치모의에 있어 넷징의 종류와 동지 격자 영역에 따른 자료동화 효과를 분석한 결과, 분석 넷징을 적용한 결과가 가장 향상된 것임을 보고한 바 있다.
- 본 과제에서 분석 넷징은 최근 여름인 2022년 7월 여름철에 대하여 LAMP domain 6 (전북) 안에 존재하는 ASOS(종관기상관측소) 총 9개 지점 (GS: 군산, JJ: 전주, JS: 장수, NW: 남원, IS: 임실, SC: 순창군, JE: 정읍, GC: 고창, BA: 부안)을 이용하여 수행하였다.



< 연구 대상지인 전북 내 분석 넷징을 이용한 4차원 자료동화 지점들 >

- 적용 결과, 전반적으로 기상모델에 분석넷징을 적용한 수치모의가 그렇지 않은 모의결과에 비해 뚜렷한 개선효과를 보여준다. 구체적으로는 기온의 IOA, RMSE, MBE가 0.90, 1.65 0.50, 풍속의 경우 0.63 1.84 1.04, 습도의 경우 0.85, 9.12, 2.54의 값을 보여, RMSE와 MBE에서 관측값과의 오차가 작고, IOA에서 시간 변동성에 있어 잘 일치하는 결과를 보였다.



< 전북 지역에 4차원 자료동화인 분석 넷징 적용 시 나타난 예측 오차의 개선 >

2) 수요자의 의견을 반영하여 복사 관련 기상 변수들 확대 생산 및 제공 안정화

- LAMP WRF-solar 변수들 추가 추출 및 생산을 위한 시스템 보완하였다.

- 생산 및 제공 주기: 주 2회 (월요일, 수요일)
- 회당 예측 기간: 12일 (중기 기상예측)
- 공간/시간 해상도: 약 810 m / 30분 단위

- 자료 추가 생산에 따른 저장용량 확보 및 전송 안정화하였다.

- SELAB Cloud (주소: sftp.selab.cloud:9022) 주소로 경량화된 자료 전송
- 자료 파일명: ncam_lamp_fcst_810m_JeonBuk_yyyy-mm-dd_hh:bb:ss.nc

< 전북 지역을 대상으로 제공되는 기존 및 추가지원(음영) 기상변수 목록 >

변수명	설명	단위	비고
t2	2m 기온	°C	
td	2m 이슬점 온도	°C	
swdown	일사량	W/m ²	하향 단파복사 강도
rain	누적 강수	mm	초기 시각부터 누적
u10	10m 동서바람	m/s	
v10	10m 남북바람	m/s	
w10	10m 연직바람	m/s	
rh	상대습도	%	
XLAT	위도	deg.	
XLONG	경도	deg.	
smois1	1층 토양수분	m ³ /m ³	
smois2	2층 토양수분	m ³ /m ³	
smois3	3층 토양수분	m ³ /m ³	
smois4	4층 토양수분	m ³ /m ³	
wind_d	10m 풍향	deg.	u10, v10으로 계산
wind_s	10m 풍속	m/s	u10, v10으로 계산
slp	해수면기압	hPa	
cldfra_low	하층운량	-	등압면 850 hPa 운량
cldfra_total	총운량	-	연직 최대 운량
swddir	직달일사	W/m ²	
swddni	법선면 직달일사	W/m ²	
swddif	산란일사	W/m ²	
snowh	적설 깊이	m	초기 시각부터 누적
h_ir	수평 장파복사 강도	W/m ²	별도 설명

Field: Horizontal Infrared Radiation Intensity

This is the Horizontal Infrared Radiation Intensity in Wh/m2. If it is missing, it is calculated from the Opaque Sky Cover field as shown in the following explanation. It should have a minimum value of 0; missing value for this field is 9999.

$$\text{Horizontal}_{\text{IR}} = \text{Sky}_{\text{emissivity}} \cdot \sigma \cdot \text{Temperature}_{\text{dry bulb}}^4$$

where

$\text{Horizontal}_{\text{IR}}$ = horizontal IR intensity (W/m²)

$\text{Sky}_{\text{emissivity}}$ = sky emissivity

σ = Stefan-Boltzmann constant = 5.6697e-8 (W/m²·K⁴)

$\text{Temperature}_{\text{dry bulb}}$ = drybulb temperature (K)

The sky emissivity is given by

$$\text{Sky}_{\text{emissivity}} = \left(0.787 + 0.764 \cdot \ln \left(\frac{\text{Temperature}_{\text{dew point}}}{273.0} \right) \right) \cdot (1 + 0.0224N - 0.0035N^2 + 0.00028N^3)$$

where

$\text{Temperature}_{\text{dew point}}$ = dewpoint temperature (K)

N = opaque sky cover (tenths)

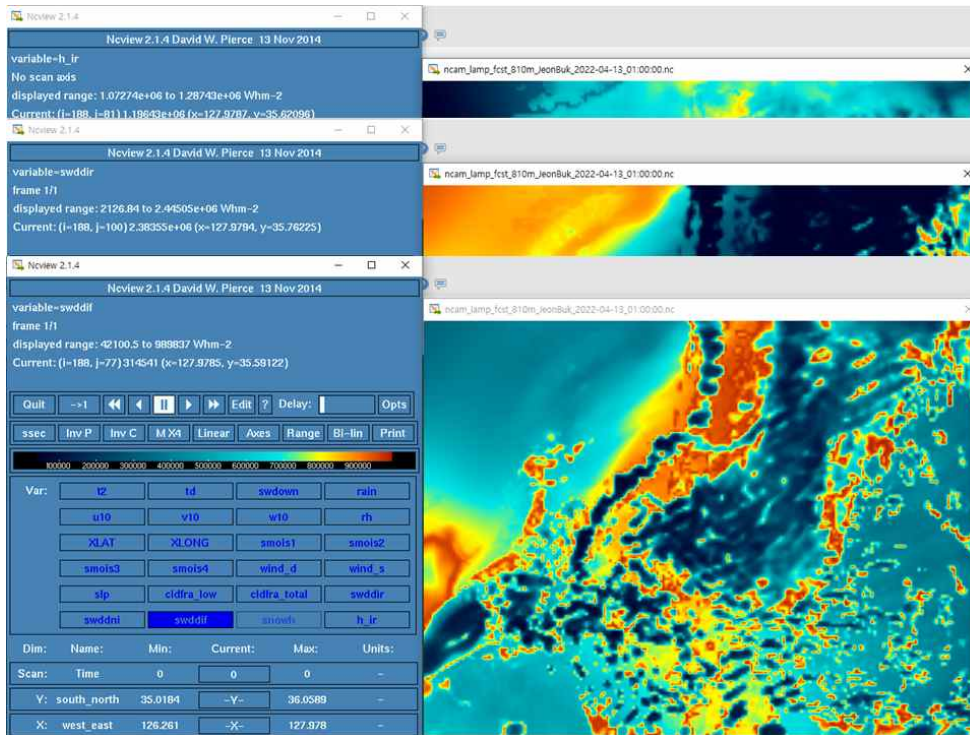
Example: Clear sky ($N = 0$), $\text{Temperature}_{\text{dry bulb}} = 273 + 20 = 293\text{K}$, $\text{Temperature}_{\text{dew point}} = 273 + 10 = 283\text{K}$.

$\text{Sky}_{\text{emissivity}} = 0.787 + 0.764 \cdot 0.036 = 0.815$

$\text{Horizontal}_{\text{IR}} = 0.815 \cdot 5.6697e-8 \cdot (293^4) = 340.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

References (Walton, 1983) (Clark, Allen, 1978) for these calculations are contained in the references section at the end of this list of fields.

< 추가 지원되는 복사 관련 변수 중 수평 IR 강도(h_ir)의 계산식 >

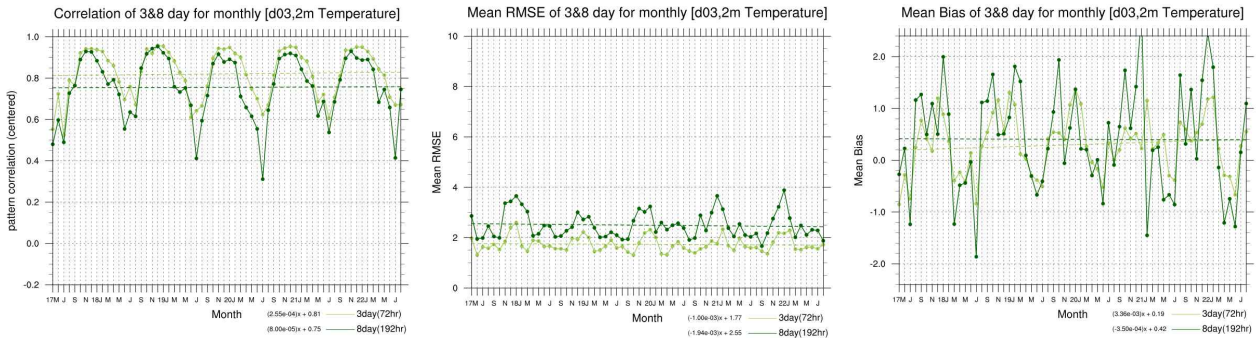


< 추가 지원되는 복사 관련 변수들에 대한 그래픽 표출 테스트 >

3) ERA5를 이용한 LAMP 정기 검증

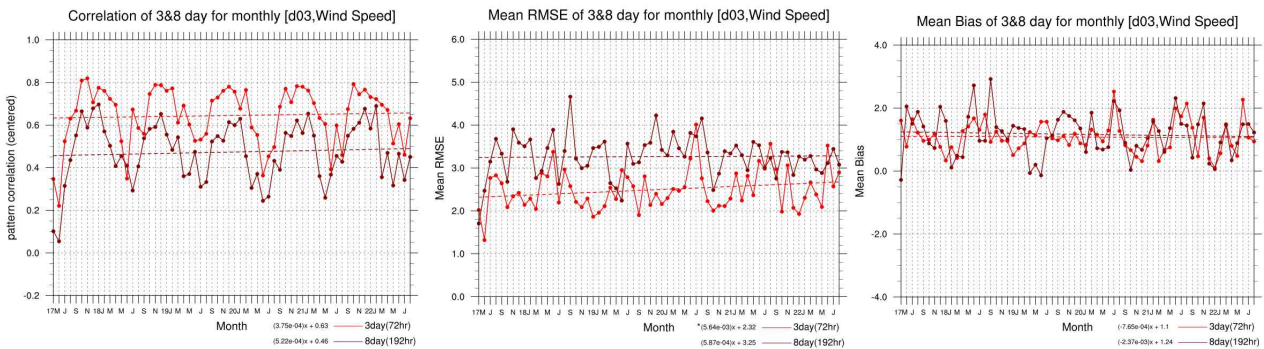
- ERA5를 이용하여 2017년 1월~2022년 8월까지 구축된 LAMP 자료 중 기온, 풍속, 해면 기압(sea level pressure) 변수에 대하여 정기 검증을 실시하였다.

- 2m 지상 기온의 경우, 상관계수는 약 0.4~0.9로 계절적 변동을 하고, RMSE는 3일 예측일 경우 약 1.8도, 8일 예측일 경우 약 2.5도로 나타났으며, Bias는 3일 예측과 8일 예측 모두 약 0.2도로 나타났다. 모델 자료가 누적될수록 RMSE는 감소하고, Bias는 변동폭이 불규칙한 경향을 보인다.



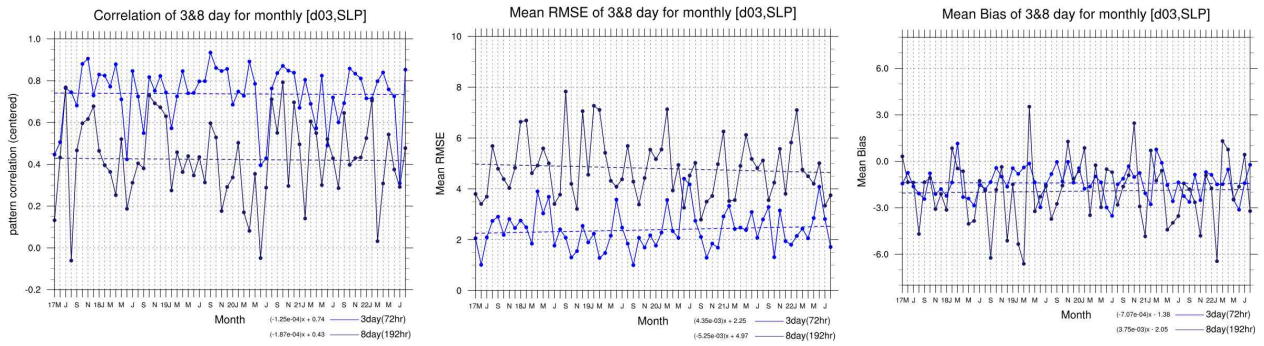
< ERA5를 이용한 LAMP 지상 온도(2m) 검증 (좌:Correlation, 중:RMSE, 우:Bias) >

- 지상 풍속의 경우, 상관계수는 3일 예측이 약 0.65, 8일 예측이 약 0.45로 나타났으며, 모델 자료가 축적될수록 증가하는 경향을 보인다. RMSE는 3일 예측이 약 0.23m/s, 8일 예측이 약 0.33m/s로 나타났으며, 모델 자료가 누적될수록 3일 예측 RMSE는 증가한다. Bias는 3일 예측과 8일 예측 모두 약 0.12m/s로 나타났으며, 모델 자료가 쌓일수록 감소하는 경향을 보인다.



< ERA5를 이용한 LAMP 풍속자료 검증 (좌:Correlation, 중:RMSE, 우:Bias) >

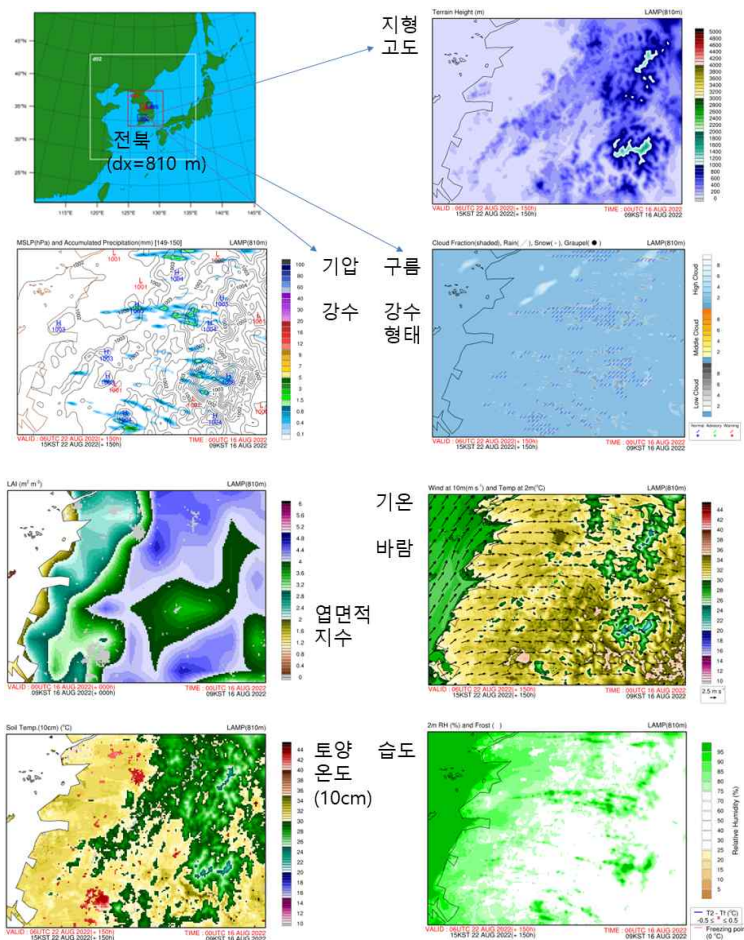
- 해면 기압의 경우, 상관계수는 3일 예측이 약 0.75, 8일 예측이 약 0.45로 나타났으며, 변동폭이 불규칙한 경향을 보인다. RMSE는 3일 예측이 약 2.5로 나타났으며 모델 자료가 쌓일수록 증가하는 경향을 보인다. 8일 예측 RMSE는 약 5.0으로 나타났으며 모델 자료가 쌓일수록 감소하는 경향을 보인다. Bias는 3일 예측과 8일 예측 모두 약 -2.3으로 나타난다.

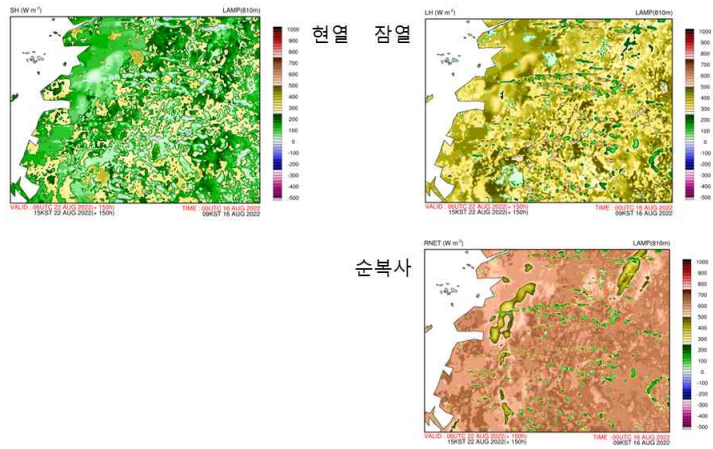


< ERA5를 이용한 LAMP 해면 기압 검증 (좌:Correlation, 중:RMSE, 우:Bias) >

4) LAMP 현업 운영 체계 안정화

- 홈페이지를 통한 자료 생산 및 표출 안정화
- 지형고도, 엽면적지수, 기온, 기압, 풍향, 풍속, 습도, 강수량, 강수형태, 순복사, 현열, 잠열, 토양온도 (10 cm 깊이) 등에 대하여 안정적 표출 구현 완료하였다.





< LAMP 현업 서비스 시스템 내에서의 전북지역 자료 생산 및 표출 >

농림지원 고해상도 지면-대기모델링 패키지(LAMP) 서비스 NCAM (국가농림기상센터)

LAMP 소개 고해상도 증기 예측 화면도 고해상도 증기 예측 연직시계열도 농림지 맞춤형 1년 모의 자료신청 및 다운로드 참고문헌 협력 및 수요 기관

자료 시작 일시(UTC): 2022-08-16 00:00

예측 지역: 036(전북)

자료 종류: 기온, 바람

공지 사항
 Last Updated: 05:18:52 AM 12/02/2022
 LAMP 그림들은 매우 중요하고 수요에 의해 새로운 그림들로 업데이트 됩니다.
 문의: lamp.service@ncam.kr

영상 컨트롤러

예측 일시(KST): 2022-08-22 15시 (월) 예측 기간(KST): 2022-08-16 09시 (화) - 2022-08-28 09시 (일)

Wind at 10m(m/s) and Temp at 2m(°C) LAMP(810m)

< LAMP 현업 서비스 시스템 홈페이지 >

- 실시간 계절예측 모듈의 고도화

- 웹기반 서비스에 탑재된 장기에측 상세화 모듈의 운영에 따른 문제 중심의 해결을 통한 현업운영(operation) 체계의 안정화 확보를 위한 패키지 구성을 체계화 하였다.
- 패키지의 컨트롤 파일의 입력 변수 확정 및 구동 스크립트를 상세화 절차를 고려하여 변경하였다.
- 컨트롤 파일의 경우 기술적인 내용을 모르는 일반 사용자도 쉽게 상세화 자료를 생산할 수 있도록 최소한의 입력만을 고려하여 설계하였다.
- 구동 스크립트가 경우는 예측자료의 수집, 공간적 상세화, 시간적 상세화의 순서로 수행될 수 있도록 개발된 함수의 순서를 재조정하였다.


```
##### Default Configurations#####
prjdir: I:/2022-IWMI_KOR/seamless/NMME-KOR-5km
dbdir: I:/2022-IWMI_KOR/Database
prism_tifdir: I:/2022-IWMI_KOR/seamless/ObsGrid-KOR-5km/PRISM/02_PostProcess/GeoTif
gisdir: $(dbdir)/GISDB
##### User Input #####
CntryCode3: KOR # Country Code for clipping extent
bond_shp: NMME_boundary.shp # Boundary shape file for spatial downscaling
bond_shp_keyid: NAME_0 # Column name for creating forecast maps
loc_csv: GGD-Locations.csv # Location file for extracting daily forecast data
syear_hind: 1982 # Start year for calculating the climatology
eyear_hind: 2010 # End year for calculating the climatology
syear_smp1: 2014 # Start year of PRISM output (year_month)
eyear_smp1: 2016 # End year of PRISM output (year_month)
syear_edi: 1990 # Start year for monthly EDI calculation
eyear_edi: 2019 # End year for monthly EDI calculation
FcstYrMon: 202206 # Forecasting Year-Month
##### End of File#####
```

<NMME 패키지 컨트롤 파일 구조>

```
prjdir <- "I:/2022-IWMI_KOR/seamless/NMME-KOR-5km"
dbdir <- "I:/2022-IWMI_KOR/Database"
prism_tifdir <- "I:/2022-IWMI_KOR/seamless/ObsGrid-KOR-5km/PRISM/02_PostProcess/GeoTif"
library(NMME)
NMME::Install.Required.Packages()
|
#####
# 1. Edit user input part of ObsGrid.yaml and upload to EnvList
#####
EnvList = Set.Working.Environment (envfile <- file.path(prjdir, "NMME.yaml"))
#####
# 2. Preparing required data
#####
# 2.1 Year-month tif files should exist in prism_tifdir/year_month
# 2.2 Boundary shape file should exist in dbdir/GISDB
# 2.3 Location file should exist in dbdir/GISDB
Create.Mask.Tif.Shp.From.Bnd.Shp.n.Ref.Tif (EnvList)
#####
# 3. Spatial downscaling
#####
Calculate.YearMonthly.Tavg.Using.TminTmax.Tif (EnvList)
Calculate.Monthly.Forecast.3Ranges.from.YearMonthly.Tif (EnvList)
Download.NMME.Forecast.Anomaly.NetCDF (EnvList)
Spatial.Downscale.NMME.Forecast (EnvList)
Calculate.Monthly.Forecast.Probability.Tif (EnvList)
Draw.PMME.Monthly.Forecast.Maps (EnvList)
Create.PMME.Monthly.Bulletin.3month.Docx (EnvList)
#####
# 4. Temporal downscaling
#####
Select.Best.Fit.Year.Month (EnvList)
Calculate.Adjust.Ratio.or.Factor (EnvList)
Temporal.Downscale.NMME.Forecast (EnvList)
Extract.Daily.Weather.for.Points (EnvList)
```

<NMME 구동 스크립트 구조>

- 계산속도 향상을 위한 병렬화

- 고해상도 격자기반 정보 생산 및 가공에 따른 계산속도 증가에 따른 현업운영 체계의 효율성 확보를 위한 R기반 계산 함수의 병렬화를 수행하였다.
- 계산 시간이 긴 자료처리에 다중 CPU(Thread) 기반 병렬화 수행을 위해 foreach 라이브러리 활용하여 전체 함수 중 총 15개 자료처리 함수에 foreach 병렬화 기능을 추가하였다.

```

CalculateYearMonthlyTavgUsingTminTmaxTif <- function (EnvList){
  library(raster)
  library(foreach)
  library(parallel)
  library(doSNOW)
  library(memuse)

  prism_tifdir <- EnvList$prism_tifdir
  gisdir <- EnvList$gisdir
  bond_shp <- EnvList$bond_shp; mask_tif <- sprintf("%s-prism.pnt.tif", gsub(".shp", "", bond_shp))

  yrmondir <- file.path(prism_tifdir, "year_month")

  MaskDFile <- file.path(gisdir, mask_tif)
  r.mask <- raster::raster(MaskDFile)

  tminflist <- list.files(yrmondir, pattern = glob2rx("tmin*.tif"), full.names = F)

  smpl <- raster::raster(file.path(yrmondir, tminflist[1]))
  yearmoncnt <- length(tminflist)
  nCores <- calculateRequiredCores (smpl, 2, yearmoncnt)
  kluster <- makeCluster(nCores)
  registerDoSNOW(kluster)
  pb <- txtProgressBar(max = yearmoncnt, style = 3)
  progress <- function(n) setTxtProgressBar(pb, n)
  opts <- list(progress = progress)
  foreach(i = 1:yearmoncnt, .options.snow = opts, .packages = c('raster')) %dopar% {

    TminDFile <- file.path(yrmondir, tminflist[i])
    TmaxDFile <- gsub("/tmin.", "/tmax.", TminDFile)
    OutDFile <- gsub("/tmin.", "/tavg.", TminDFile)
    if(!file.exists(OutDFile)){
      # https://gis.stackexchange.com/questions/222291/extracting-mean-of-multiple-raster-layers-using
      r.tmin <- raster::raster(TminDFile)
      r.tmax <- raster::raster(TmaxDFile)
      r.tavg <- (r.tmin + r.tmax)/2
      r.tavg <- raster::crop(r.tavg, r.mask)

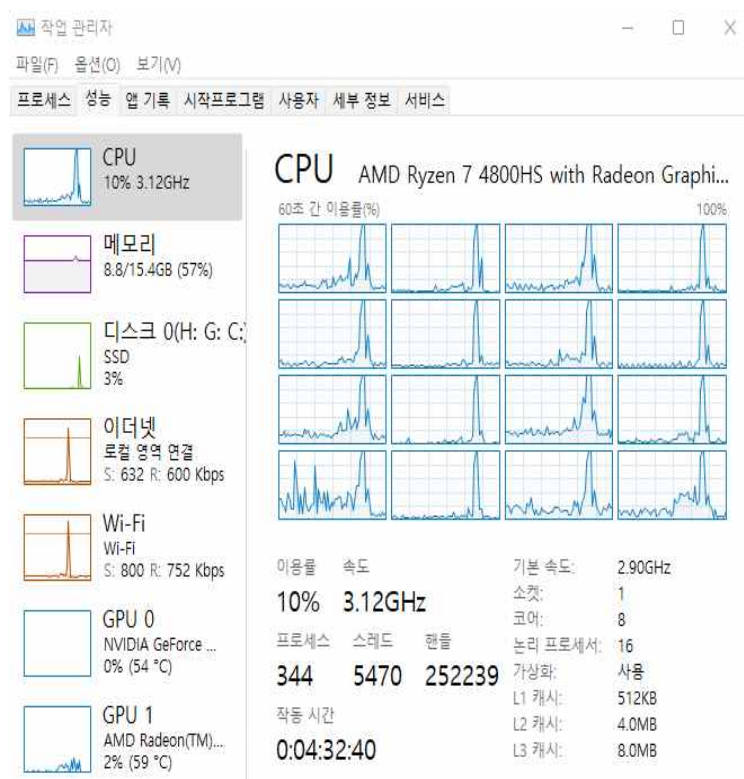
      writeRaster(r.tavg, OutDFile, format="GTiff", overwrite=T)

    } else {
      cat(sprintf("File already exists: %s\n", OutDFile))
    }
  }
  cat(sprintf("\n Monthly average temperature has been calculate using min. and max. temperature: %s\n", OutDFile))
  stopCluster(kluster)
  close(pb)
}

```

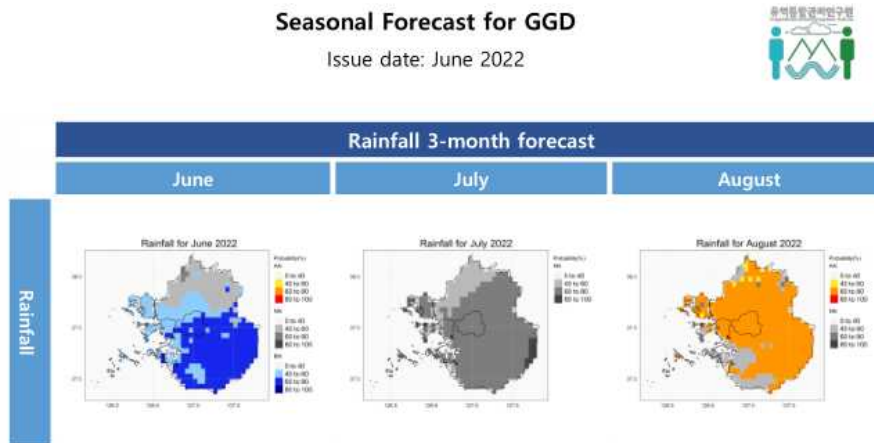
31

<평균기온계산 함수 foreach 병렬화 예시>

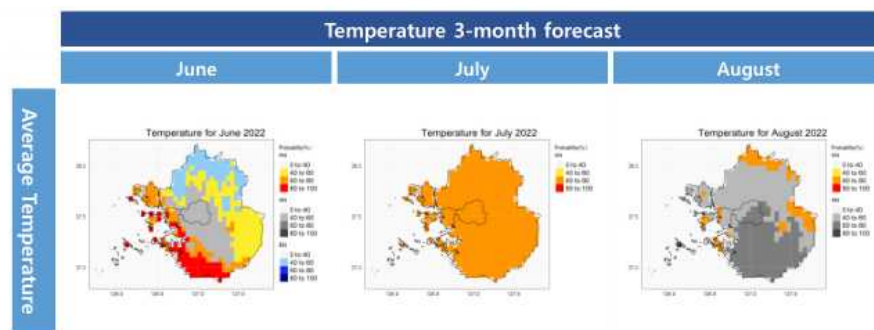


<병렬화에 따른 다중 Thread 활용 예시>

- 강수 및 기온의 상세화 예측 정보를 확률예보(probabilistic forecasting) 형식으로 사용자에게 제공하기 위해 3개월 선행예측기간에 대한 강수 및 기온 예측 자료 제공을 위한 Bulletin 자동 생산 모듈을 개발하였다.



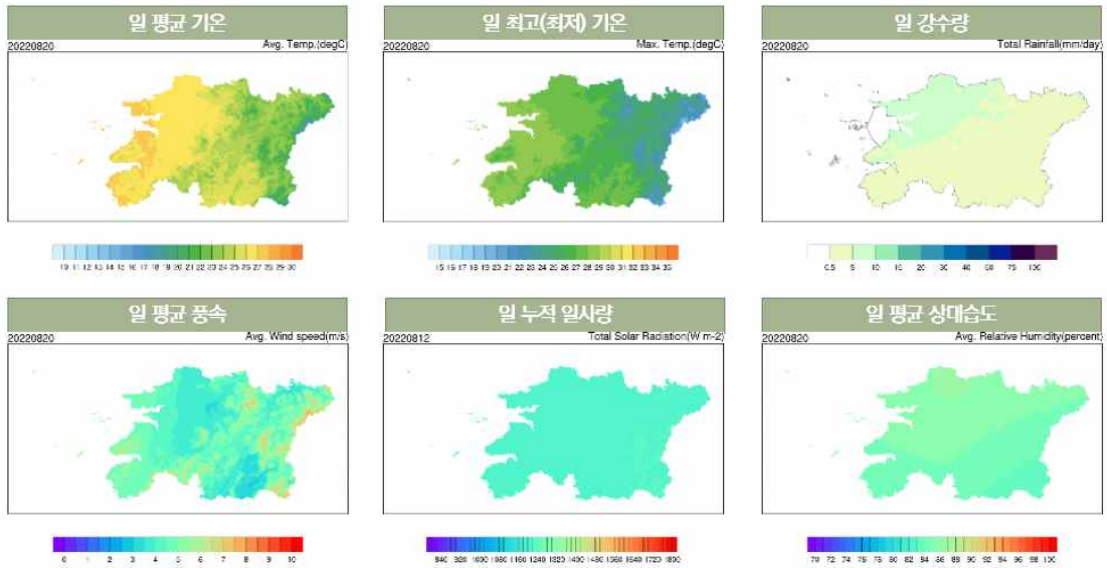
Please, fill this block manually.



Please, fill this block manually.

<3개월 확률예보 Bulletin: 강수 및 기온>

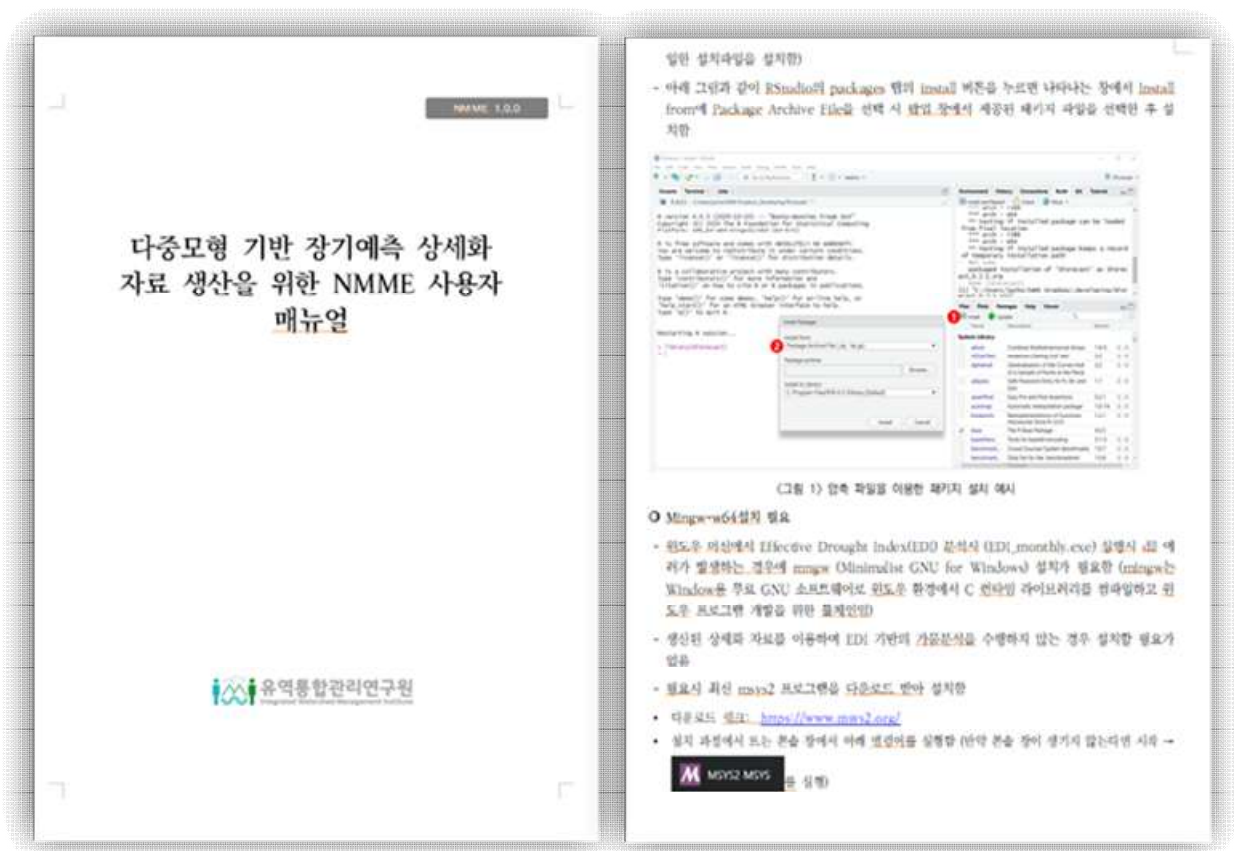
- 영향예보 모델 맞춤형 자료 생산 체계 안정화
 - 저수지 수요·공급 모델링 등의 현업적 구동 과정에서 발생하는 문제 중심의 해결을 통한 영향예보 서비스 체계 안정화를 수행하여, 상세화 자료가 농업용수의 증발산량 기반의 가뭄지수 생산에 활용될 수 있도록 하였다.
- 데이터 전송 안정화/최적화
 - 매일저녁(20~21시) 하루 전 날짜 기준으로 45일 간의 중장기 예측자료를 리빙랩 서버로 FTP 전송한다.
 - 일최고/최저/평균 기온, 일누적강수량, 일평균 풍속, 풍향, 일평균 상대습도를 제공한다.
- CFSv2 기반 고해상도 중기 기상정보 매일 1회 서비스 수행



<고해상도 중기 기상정보 서비스 제공 자료>

2) 다중규모 기상·기후예측자료의 연계 및 활용성 확대 방안 제시

- 본 연구 대상지역 이외의 국내외 적용을 통한 범용적 서비스 확대를 위한 한글 및 영어 매뉴얼을 제작하였다.



<NMME 패키지 사용자 매뉴얼: 한글>



<NMME 패키지 사용자 매뉴얼: 영문>

- Seamless 기후서비스 관점의 해외 적용성 평가를 위해 방글라데시 및 베트남의 프로젝트에 활용하였다.
- 방글라데시
 - 이음새 없는 기후서비스를 쌀 생산 과정의 병해충 관리에 활용하는 것을 목적으로 수행되었다.
 - 유역통합관리연구원에서는 계절예측을 위한 NMME 및 SForecast 패키지 뿐만 아니라, 최신의 기후변화 시나리오인 SSP 기반의 기후변화 시나리오 상세화를 위한 SQM-Grid 패키지, 격자기반 관측자료 생산을 위한 ObsGrid 패키지의 대상 지역에서의 적용을 담당하였다.
 - 서울대학교에서는 예측된 상세화 자료를 위한 벼의 병해충 관리 기법의 개발을 담당하였다.
 - 방글라데시의 Rice Research Institute (RRI) 연구원을 대상으로 현장에서 역량강화 관점의 교육을 수행하였다.

Integrated Pest Management using Seamless Climate Information (Bangladesh)

Climate Innovation Challenge

Partnership, Applicability and Scalability of Innovations and Technologies for Climate Resilience in South Asia



Use of advancing seamless climate information can enhance seamless pest management to minimize risks of unexpected outbreaks of diseases and insect pests which are causing significant crop loss.

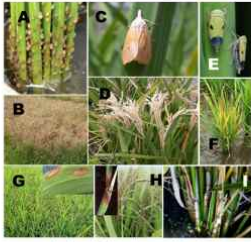


Fig. Five selected rice diseases and insect pests

Target Insect Pest:
Brown Planthopper (A, B)
Yellow Stemborer (C, D)



Fig 1: Location of Cumilla district in Bangladesh



Hands-on training workshop

<Climate Innovation Challenge 프로젝트 개요>

• R-Packages

Sforecast(station-based)

- Hybrid seasonal forecasting based on APCC forecast, reanalysis, and climate indices.
- Deterministic forecast information are provided for each weather stations.

SQM

- Weather station-based statistical downscaling package for CMIP6 (SSP scenarios)

- Multiple(18) GCMs for considering uncertainties
- Four SSP scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)
- Six climate variables for agricultural applications (Rainfall, Temperatures, Humidity, Wind speed, solar radiation)
- Daily time-scale for detecting extreme climate characteristics
- Empirical Quantile Mapping bias correction for each stations using user-given observation data
- Use of 27 ETCCDI climate change indices and Effective Drought Index (EDI) and future change analysis

ObsGrid

- Creating long-term grid-based observation data
- ERA5: 1979~present; 6 variables(rainfall, temperatures, Wind speed, humidity, solar radiation); 25 km resolution

SQM-Grid

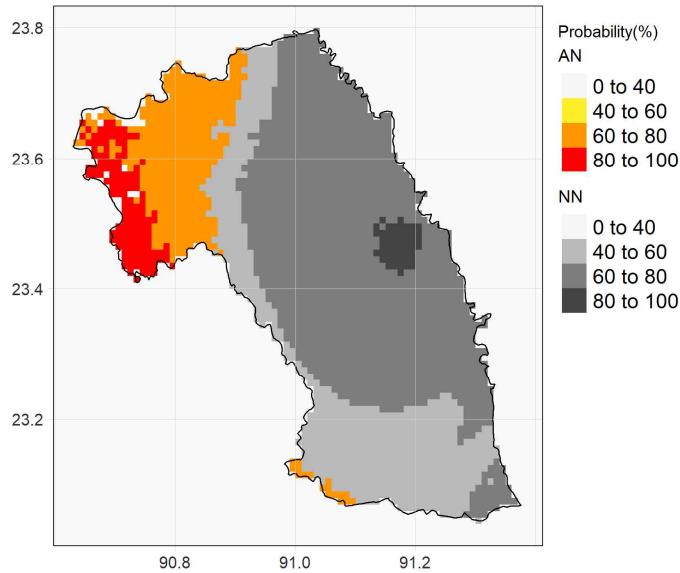
- Same downscaling method as SQM is used.
- Same GCMs, SSP scenarios, and variables as SQM
- Bias-corrected data is created based on the same resolution of ObsGrid output.
- ETCCDI and Bioclim indices are calculated based on downscaled data.

NMME (grid-based)

- North American MME is used as input
- Creating downscaled seasonal forecast data based on same resolution of ObsGrid output.
- Probabilistic drought (ED) and heat wave forecast information is provided.

<이름새없는 기후서비스 제공을 위한 R 기반 패키지 리스트>

Rainfall for November 2022



<방글라데시 Cumilla 지역 NMME 기반 예측 상세화 자료 예시>

- 베트남

- 베트남의 ADB8: Water Efficiency Improvement for Drought-Affected Provinces (WEIDAP) 프로젝트의 패키지 중에서 Crop Monitoring Online Platform Development는 농민에게 실시간 위성 자료 및 예측 자료를 활용하여 관개량 정보를 제공하기 위한 시스템 개발을 목적으로 한다.
- 개발된 시스템은 유역 및 저수지 관리 담당자 등도 활용이 가능하며, 물관리 담당자들이 예측자료를 활용하여 의사결정에 도움받을 수 있도록 NMME 3개월 예측의 상세화 자료가 개발된 시스템을 통해 제공될 수 있도록 적용하였다.

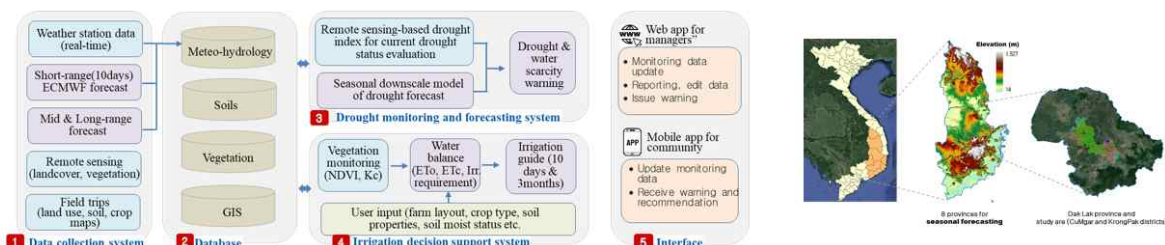
Crop Monitoring Online Platform Development (Package CPO-C-04)

Water Efficiency Improvement for Drought-Affected Provinces (WEIDAP/ADB8)

Partnership, Applicability and Scalability of Innovations and Technologies for Climate Resilience in South Asia

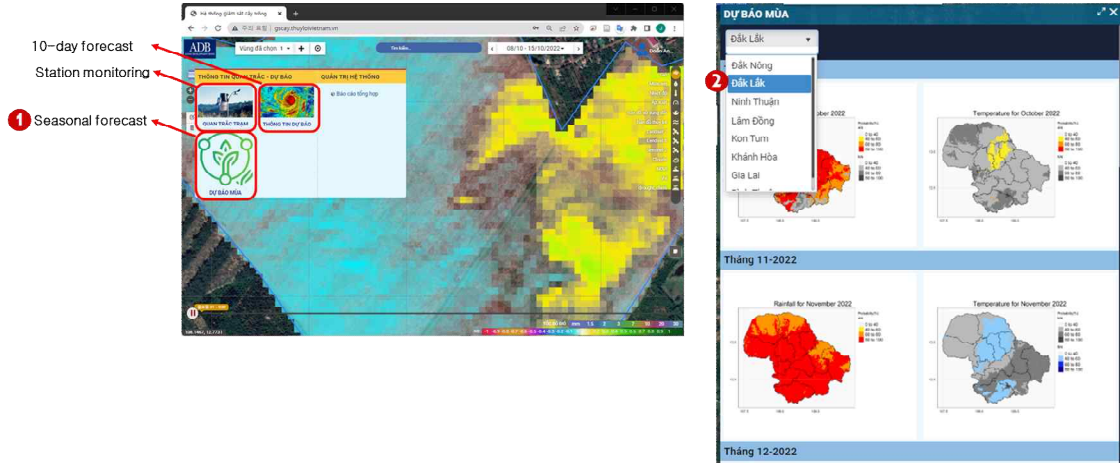


"Crop monitoring online platform development" is a technical support package. It based on an [online platform to monitor production situation](#) in the subprojects area to better [support water resources and droughts management](#) in the region and to increase the capacity of relevant agencies and units



<WEIDAP 프로젝트 및 작물모니터링 플랫폼 패키지 개요>

Grid-based (1km) probabilistic seasonal forecast: precipitation



<플랫폼 메뉴 구성 및 3개월 강수 및 기온의 확률예측 예시>

나. 가축 고온스트레스 평가 모델의 최적화 및 분석 데이터 구축

○ 가축 고온스트레스 평가 모델의 정확도 향상 및 최적화

1) 국내 가축 및 기상 여건에 적합한 가축 고온스트레스 산정 기준 선정

- 국내외 문헌에 따르면 양계 관련 고온스트레스 지수는 아래 표와 같이 정리 할 수 있다. NRC (1971)와 Dikmenand Hansen (2009) 문헌에 따른 고온스트레스 지수는 젖소로 개발된 연구로 시작된 모델이며, 1900년대 연구 결과를 기반으로 한 결과로 많은 고온스트레스 지수의 토대가 되었으나 정확도가 높을 것으로 판단하긴 어렵다. 또한 Moraes et al. (2008)과 Candido et al. (2016)이 개발한 고온스트레스 지수는 젖소를 통하여 개발된 모델이며, 이 모델을 이용하여 계사에서 사육면적을 고려하여 실험한 뒤 기준 값만을 육계와 산란계에 대하여 나눈 것으로 보인다. 또한 흑구와 이슬점 온도를 이용하여 BGHI 지수를 개발한 Buffington et al. (2014)는 애초에 젖소에 대한 개발 수식이지만 Candido는 이를 육계에 대하여 실험을 수행하였다. 흑구온도란 가상의 흑체를 이용하여 측정하는 온도로 주위로부터의 열 복사에 의한 영향을 관측하기 위해 이용된다. 보통 검은색으로 도장된 얇은 동판의 구의 중심에 온도계를 넣어서 관측하므로 에너지 시뮬레이션을 통한 결과값으로 해당 인자를 이용하기에 어려운 한계점이 존재한다. Chepete et al. (2005), Moura et al. (2015)가 개발한 고온스트레스 지수는 국내를 기준으로 하였을 때 가장 적합하다. 우리나라에서 가장 많이 사육하는 Cobb 종이 46%이며 30일 내외로 키워서 평균 1.5kg의 닭이 출하된다. 이 실험에서도 straight-run Cobb 500을 이용하였으며, 일령은 3, 4주차와 5, 6주차에 따라 15 ~ 28일령, 29 ~ 42일령으로 나뉜다. 닭의 무게 또한 575 ~ 1,060g, 1,620 ~ 2,165g 정도이다. 우리나라 육계 재배 환경에 따르면 3 ~ 4주차의 지수에 적합한 것으로 판단된다. 그러나 서비스를 제공할 때 폐사 기준에 대한 경종을 제시하기 위해 임계점이 필요하다. 해당 문헌에서는 임계점 부재로 인해 사용이 어려울 것으로 판단된다. 그래서 Tao and Xin (2003) 값을 이용하려고 한다. Ross 품종을 교배한 닭으로 약 46일령이며, 약 2,800g 정도의 무게이다. 아이오와 주립대에서 실험하였으므로 우리나라와도 외부 기상이 유사하며, 해당 문헌에서는 임계점을 제시하였으므로 그 값을 기준으로 선정하고자 한다. 산란계는 Deshazerand Beck (1988)가 개발한 모형을 이용하는 것이 적합한 것으로 보인다. 이 모델은 산란계의 온열 환경 특성에 따라 지수를 개발한 것이다.
- 기후 변화로 폭염에 대한 가축 피해를 줄이기 위해 농촌진흥청에서 제공하는 가축사육 기상정보 서비스가 있다. 이는 기상청에서 제공하는 동네예보 open API와 연계하여 무더위에 가축을 선제적으로 관리하기 위한 목적으로 실시간으로 가축더위지수를 웹 및 모바일을 통해 제공한다. 그리고 기후 변화 시나리오 자료로 IPCC의 RCP 시나리오에 따른 외부 기온 및 습도 변화 고려한 미래 더위지수 분포도도 제공한다. 한우, 젖소, 돼지, 가금에 대한 가축의 온습도 지수 예측 모형을 이용한다. 앞서 말한 농장의 가축더위지수 예측 모형은 외부 기온과 상대습도를 이용하여 NRC (1971)모형을 일괄적으로 제공하며 이 중 닭은 THI의 범위에 따라 5가지 등급(63, 73, 80, 91)으로 나누어 임계점을 제시하고 있다. 또한 미래에 축종별 가축더위지수를 나타내는 경우 축종에 따라 나누어 표현한다. 돼지 열량 지수 (NIAS, 2019), 육계 더위지수 (Tao and Xin, 2003), 산란계 더위지수 (Gates et al., 1995)를 이용하였다. 이 중 육계는 육계의 열 스트레스를 추정하는 온습도지수 모델을 선정하였고, 동 연구에서 제시하는 THI로부터 특정 기상환경이 90분간 유지되었을 때의 체온 변화량을 추정한 모형과 체온변화량의범위에 따른 위험도 4등급 (normal, alert, danger, emergncy)를 이용하여 위험도가 alert 등급 이상이 되는 THI의

입계값을 33.14로 구하였다. Gates et al. (1995)의 연구를 참고하여, Deshazer and Beck (1998)의 산란계용 온습도지수 예측모형을 이용하였고, 그 THI의 문턱값을 28로 선택하였다.

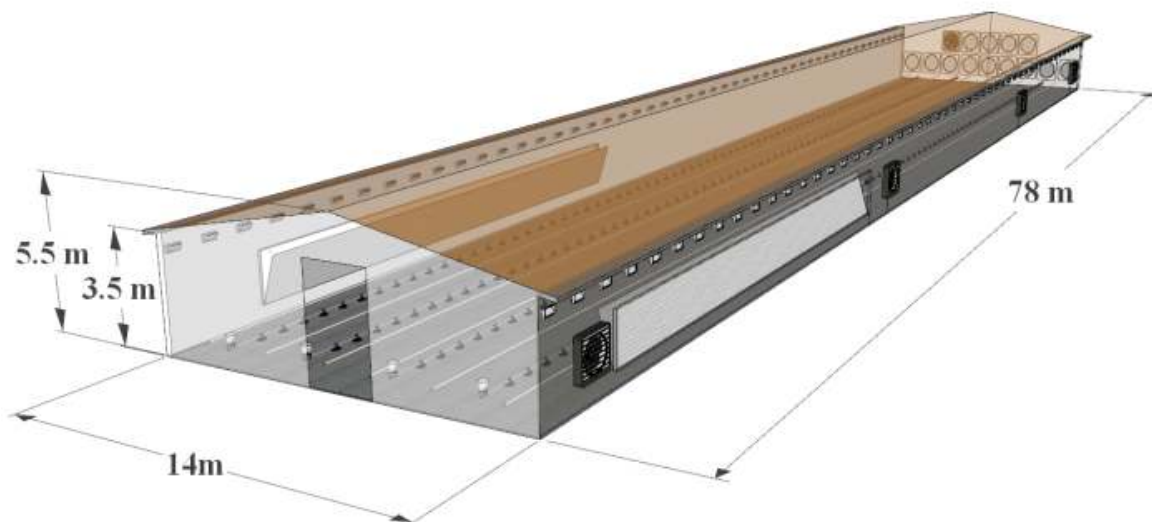
2) 사육기간에 계사 내부 유속 및 냉방효율 측정 현장실험을 통한 모델 정확도 향상

- 국내 계사에서는 일반적으로 하절기에 환기량 조절과 쿨링패드 가동을 통해 내부 환경을 조절한다. 쿨링패드는 특수 섬유를 벌집모양으로 제작하여 공기가 통과하게 만든 제품으로, 위에서 물을 통과시키거나 패드 전면에 물을 분사하여 패드를 적신 뒤 공기가 해당 젖은 섬유질 사이를 통과하면서 열을 교환하여 계사의 온도를 낮추는 장치이다. 환기량 조절은 대부분 건구 온도를 기준으로 제시되고(Ha et al., 2020), 쿨링패드를 가동하는 경우 내부 온도는 감소하지만 습도는 증가하기 때문에(Dunlop and McAuley, 2021) 육계의 고온 스트레스를 증가시킬 수 있다. 또한, 쿨링패드 가동 및 환기량 조절 시 계사 내부 유속 변화가 발생하는데, 유속은 체감온도와 직결되기 때문에 환경 관리시 중요한 영향을 미친다. 국내외 쿨링패드 가동 시 내부 온도와 습도, 유속 등에 대해 진행된 연구는 미국 아칸소주에 위치한 육계사에서 터널 환기, 냉난방에 따른 계사 중앙 온도와 습도 분포 분석(Xin et al., 1994), 미국 아칸소주에 위치한 터널 환기식 육계사에서 스프링클러와 쿨링패드 구동 시 각각의 입기구, 배기구, 계사 중앙 내부 온습도 비교(Liang et al., 2014), 터키에 위치한 육계사에서 쿨링패드 입기, 배기 공기의 온도와 습도 비교(Dagtekin et al., 2009) 등이 수행되었다. 연구 결과, 쿨링패드는 잠열을 이용하여 입기 온도를 떨어뜨리는 원리로, 외부 공기에 비해 내부에서 측정된 온도는 감소하고, 습도는 증가하는 것을 확인하였다. 하지만, 한국의 하절기는 습도가 높아 건조한 지역에서 사용되는 쿨링패드의 기작은 차이를 보일 수 있다.
- 동적에너지 모델의 정확도를 더욱 향상하기 위하여 육계사에서 여름철에 닭 사육할 때 고온을 막기 위해 사용하는 냉방 시설을 모델상에 고려하고자 하였다. 이를 위하여 화성시 영남농장 (장안면 한천 3길 38)에서 6 ~ 7월 간 실험을 수행하였다. 실험 농장의 규모는 폭 14m, 길이 78m, 축고 3.5m, 동고 5.5m이며, 한 달의 사육 기간 동안 23,000수를 사육하여 입식 시 45g에서 1.7kg일 때 출하하여 평균 일일 증체율은 약 5-60g이다. 아래 그림은 대상 농장의 내부 시설 및 구조를 나타낸다. 해당 육계사는 각 측벽에 0.65m x 0.3m 규격의 입기 슬롯이 53개씩 총 106개, 입구쪽 측벽의 쿨링패드는 24m x 1.5m x 0.1m 규격으로 각 면에 하나씩 설치되어있다. 후면에 직경 1.27m, 최대 유량 38,000CMH 배기팬(Euroemme EM50; Munters, Sweden)이 2단으로 총 14개있고, 배기팬으로부터 3~4m 앞에 나무와 돌 등이 약 10m 높이로 쌓여있어 분진과 악취가 확산하는 것을 막을 수 있다. 또한, 난방을 위해 시간당 최대 100,000kcal의 성능을 갖는 열풍기(삼성 파워 온풍기; PW-1000) 3대가 설치되어 있다. 쿨링패드의 길이는 24m이며 일반적으로 외기가 30°C 이상일 때 가동하였다. 가동할 경우 외부 기온과 내부 공기의 온도 편차가 7 ~ 8°C 발생하므로 그 이하의 온도에서는 호흡기 이상이 생길 위험이 있으므로 가동 시간을 약 20 ~ 40 초로 조절하여 실험하였다.



<실험 대상시설 내외부 및 쿨링패드 설비 모습>

- 육계사에서 50g 병아리가 입추했을 때부터 출하까지 전기간 데이터를 수집하였다. 외부 기상은 직접 설치한 간이 기상대 (WatchDog Weather Station 3000 series, Spectrum Technologies, Inc., U.S.A.)에서 5분 간격 자료를 수집하였다. 기상대는 주변 장애물의 영향을 받지 않도록 건물과 3m 이상 떨어진 위치에 설치하였다. 또한, 계사 내부에 온습도 센서 (UX100-03, Onset computer corp. U.S.A.)를 3열, 12m 간격으로 18개 설치하여 1분 간격으로 측정하였다. 또한, 쿨링패드 가동 여부 및 시간을 기록하기 위해 전류량 계측장비(DW-6092, Newtech Inc., Korea)를 이용하여 쿨링패드 가동 시 전력량을 측정하였다.



<실험 대상시설 구조 및 규모>

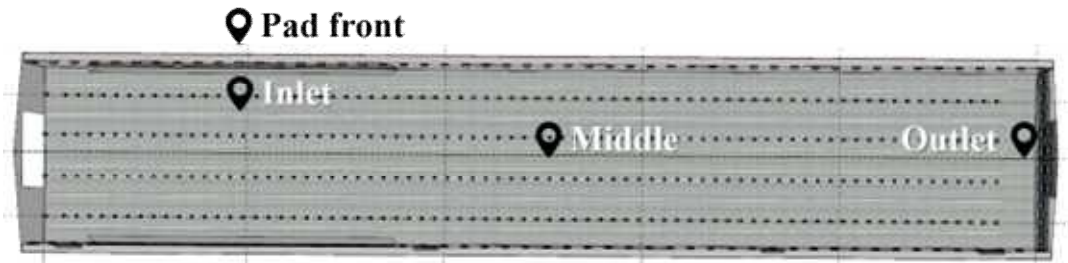


<쿨링패드 가동 시 전력량 측정장치>

- 하절기 계사에서 냉방을 위해 활용될 수 있는 시설은 대표적으로 쿨링패드와 스프링클러가 있다. 육계사는 대부분 음압식 강제 환기를 사용하므로, 입기구에 쿨링패드를 설치하는 것이 비교적 경제적이기 때문에 국내 육계사 냉방 장비로 가장 많이 사용된다. 쿨링패드는 외기의 잠열을 제거하여 온도를 낮추는 방식으로, 쿨링패드의 냉방 효율은 패드의 사양, 육계사 주변 구조 및 환경 관리 방식에 따라서 변화할 수 있다. 따라서 각 육계사에 설치되어있는 쿨링패드의 냉방 효율을 실측하여 내부환경 분석 시 고려하여야 한다. 쿨링패드의 포화 효율(ϵ)은 일반적으로 측정에 용이한 쿨링패드 통과 전 건·습구 온도와 통과 후 건구 온도를 이용하여 계산된다.

$$\epsilon = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{out} - T_{wb}}$$

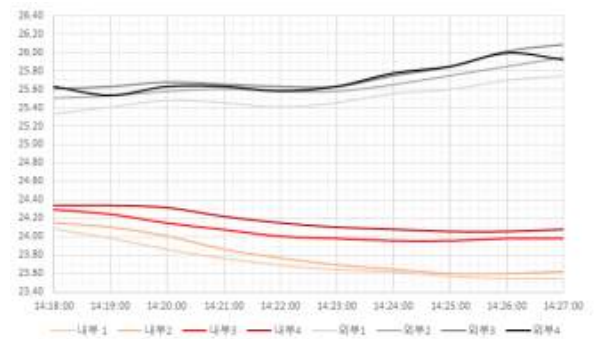
- 여기서 ϵ 은 포화 효율(%), T_{out} 은 쿨링패드 통과 전 건구 온도($^{\circ}\text{C}$), T_{in} 은 쿨링패드 통과 후 건구 온도($^{\circ}\text{C}$), T_{wb} 은 쿨링패드 통과 전 습구 온도($^{\circ}\text{C}$)이다.
- 표준설계도에서 제시되는 육계사 쿨링패드의 규격은 1.3m x 24m으로, 특히 길이 방향 부하가 발생할 수 있다. 따라서 쿨링패드 가동 시 길이, 폭 방향의 유속과 온도를 측정하여 쿨링패드 가동 시 내부환경이 균일한지 확인을 하였다. 우선, 선행 연구 조사를 통해 쿨링패드 냉방 효율에 영향을 미치는 요소들을 확인하였다. Rong et al.(2017)은 덩고 건조한 지역에서 터널 환기에 증발식 쿨링패드를 적용하였을 때 펌프 가동 시간과 공기 유속에 따른 효율을 평가하였고, Laknizi et al.(2021)은 ANOVA 분석을 통한 직접 증발 냉각 쿨링패드 최적화를 위해 패드 두께와 압력 강하, 효율을 고정값으로 두었을 때 공기 온습도와 유속을 입력하고, 냉방 용량과 순환수 소비율, 성능 계수를 연산하였다. 연구 결과, 패드 종류나 두께에 비해 공기 유속과 펌프 가동 시간, 즉 순환수의 양이 냉방 효율에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 환기팬 가동에 따른 쿨링패드를 통과하는 공기 유속과 쿨링패드 가동 시간에 따른 순환수 양을 이용하여 쿨링패드 냉방 효율을 규명하고, 이에 따른 내부 환경을 분석하였다. 또한, 쿨링패드 가동 시 입기구에서 배기구로 갈수록 온도 강하효과가 감소할 수 있으므로(RDA, 2016), 쿨링패드 가동에 따른 다양한 지점에서 측정하였다.



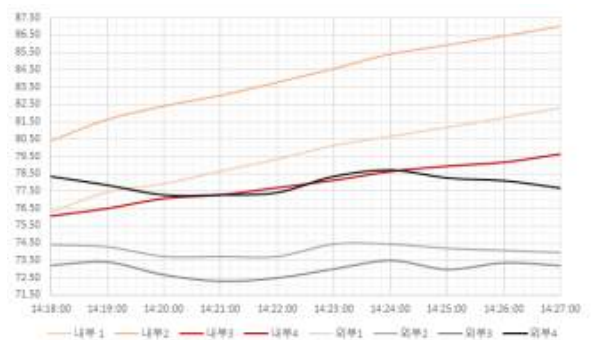
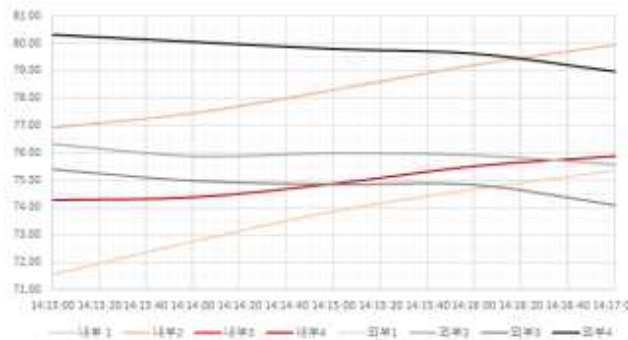
<쿨링패드 가동시 계사 내외부 온도 측정 지점>

<온도 측정 위치에 따른 온도 저감 결과>

	outside	pad front	inlet	middle	outlet
Air temperature (°C)	33.0	25.5	27.4	27.8	29.5
Temp difference (°C)	-	-7.5	-5.6	-5.2	-3.2



(a) 쿨링패드 20, 40초 가동 시 내외부 공기온도 변화



(b) 쿨링패드 20, 40초 가동 시 내외부 상대습도 변화

<쿨링패드 가동시 계사 내외부 온습도 측정 결과>

- 유속 측정 결과

- 위와 같은 실험 결과를 기존 문헌과 비교하여 모델에 입력하기 전 측정 값이 타당한지 분석을 수행하였다. Li Rong et al. (2017)은 덥고 건조한 지역에서 터널 환기에 증발 쿨링패드를 적용하였을 때 동적 성능을 평가하고자 건물 내에 히터를 설치하여 열을 발산하고 쿨링패드 통과 전 후의 공기 온습도를 측정하였다. 컨트롤 시간 내에 펌프의 가동 시간(3, 4, 5min)과 팬을 이용한 공기 유속(0.25, 0.5, 1.0, 1.5m/s)을 변화함에 따라 Evaporative Cooling Pad(ECP)의 효과를 측정하였다. 실험 결과, 펌프 가동 횟수가 많고 유속이 낮을수록 쿨링패드에 공기가 머무는 시간이 길어지고 습한 영역에 대한 접촉 면적이 넓어지기 때문에 증발이 더 많이 일어나 냉방효율이 증가하는 것으로 나타났다.

냉방효율이 높은 것이 보통 유리하지만 이로 인해 급격한 온도 하강을 막아야 하기 때문에 적절히 조절하기 위해 유입 온도와 내부 온도의 차를 이용하였다. 저자는 제어 시간 주기가 길고 면유속이 클수록 inlet과 outlet의 온도차가 커지며, 패드에 물 공급시 공기 저항 커짐을 규명하였다. Laknizi et al. (2021)은 ANOVA 분석을 통해 직접증발 냉각 쿨링패드를 최적화하는 방법을 찾아내었다. Direct Evaporative Cooling pad(DEC)를 모델링하기 위해 질량 및 에너지 균형 방정식을 기반으로 포화효율, 냉방능력, 성능곡선, 소비동력, 물 증발율을 고려하였다. 공기 온습도와 유속을 입력하여 패드 두께와 압력강하, 효율이 주어졌을 때 냉방용량과 물 소비율, COP를 연산하여 최적화하였다. S.Elmetenani et al. (2011)는 알제리 기후에서 Direct Evaporative Cooler(DEC)의 냉방 성능을 평가하였다. 태양광 발전량이 적어 전력 소비량이 적은 제품이 필요한 지역에서 DEC와 에어컨을 비교하였을 때 월별로 평균 공기 온습도를 비교한 결과 DEC가 유속이 크고 에너지 사용량이 적으므로 더욱 효과적인 것으로 나타난 것으로 보아 쿨링패드를 적용하는 경우 외기에 따른 분석도 같이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

- 그 외에도 Azzeddine et al. (2019)은 모로코의 6개 지역에서, Yang Wang et al. (2019)과 Chaoyuan Wang et al. (2008)은 중국 대륙에서, Dagtekin et al. (2009)는 지중해에서, Metin PETEK et al. (2011)은 터키에서, 쿨링패드의 성능을 실험하였다. 앞서 언급한 연구진들이 다양한 지역의 기후에서 쿨링패드를 최적화하기 위한 변수 실험들을 진행하였으며 성능의 차이만 있을 뿐 냉방 성능에 영향을 주는 인자는 공기 유속과 물의 양이며, 패드 자체의 종류와 두께는 쿨링패드 성능 계수에 영향을 주는 것으로 나타났다. (Soilman et al., 2020; Krisadang Senawong et al. 2012; Dagtekin et al. 2011) Fidaros et al. (2018)은 쿨링패드를 강제환기식 육계사에 설치하였을 때 배기팬 5개의 작동 개수에 따라 적절한 온도와 유속 변화를 수치해석을 통해 찾고자 하였다. 벽체와 쿨링패드, 바닥재, 육계에 대한 열물리적 특성(밀도, 비열, 열전도율)을 모델상에 입력하였으며 쿨링패드, 바닥재, 육계는 porous media로 가정하였다. 설치된 팬은 Munters EM50N 제품으로 1.2hp에서 가동된다 가정하였다. 0.5, 1.5m 높이에서 공기 온도와 유속을 측정된 결과를 이용하여 모델을 검증하였다. 연산 결과, 팬을 2개 가동 하였을 때, 온도 저감에 가장 효과적이었으며 더 많은 팬을 가동하는 경우는 porous한 쿨링패드에서 들어오는 압력이 낮아져 공기 흐름이 방해가 되는 것으로 나타났다. M. B. Timmons and G. R. Baughman (1984)는 기존 팬 앤 패드 시스템의 문제를 구조적으로 해결하고자 하였다. 패드로부터 거리가 멀어질수록 온도가 빠르게 상승하며 계사 내부 유속이 절반 가까이 감소하여 냉방 효율이 감소하는 문제를 해결하고자 pad plenum 개념을 도입하였다. 패드의 위치를 바꾼 실험 결과, 최대 15% 효율을 향상시켜 80% 냉방 효율을 보였고, 유입 유속이 3 m/s일 때 평균 지면의 유속이 0.9 m/s로 유지 되었다. Xue et al. (2016)은 ㄷ자형 쿨링패드가 있는 터널환기식 산란계의 공기 분포 및 통로 균일성에 영향을 미치는 요인을 식별하기 위해 쿨링패드 설치에 따른 공기환경을 시뮬레이션 하였다. ㄷ자형 쿨링패드로 인해 계사 가장자리에서 서로 다른 공기가 수직으로 충돌하고 섞여 중심부로 이동하였다. 따라서 중심 통로의 풍속이 다른 통로보다 높았고 환기율에도 차이를 보였다. CFD 시뮬레이션을 통해 쿨링패드가 끝벽으로부터 일정한 거리를 두고 있어야 냉방에 효율적이라는 것이 확인되었다. 12m 폭의 계사에서는 3m 거리를 두고 위치할 때 대부분의 위치에서 풍속이 1.5 ~ 2.0 m/s로 일정하게 나타났다. 육계사는 보통 외벽에 붙어서 쿨링패드가 위치하고 있으므로 쿨링패드 부근에서 환기 사각지대가 형성 될 가능성이 클 것으로 예상된다.

○ 다양한 환경 조건에 따른 분석 데이터 베이스 구축

1) 에너지플러스 모델 개발에 따른 가축 고온스트레스 최종 모델 개발

- 가축의 고온스트레스를 연산하는 최종 모델을 아래 스크립트와 같이 개발하였다. Energyplus Version 9.5를 사용하여 작성하였으며, 축사 구조, 예보 기간, 벽면 및 지붕 단열재, 강제환기팬 환기량, 일령과 마리수 등을 고려하여 작성한 모델이다. 축사의 구조는 아래 나타낸 그림과 같이 원점으로부터 각 벽면 법선벡터의 각 x, y, z축을 이용하여 축사의 3차원 구조를 모델링 하였다. 축사의 폭, 길이, 축고, 동고 값을 이용하여 벡터의 길이를 나타내고 축으로부터 origin을 변경하여 방위별로 회전한 축사의 방향을 표현하였다. 축사에 적용되는 환기 방법은 크기 자연환기, 강제 환기로 구분할 수 있으나, 무더운 여름의 경우 강제환기 터널팬을 이용하여 시원한 외기를 균일하게 다량 유입하고 외기온도 높은 경우엔 내부 습도 조건을 고려하여 쿨링패드를 가동한 입기구로 공기가 들어오게 된다. 육계사에서 권장하는 주령과 내부 온도에 따른 환기운영 권장안을 모델상에 구현하기 위해 “ZoneVentilation:DesignFlowRate” class를 이용하였다. Design Flow Rate는 계사 터널환기에서 많이 사용하는 팬의 실제 환기량을 입력하였으며 Ventilation type은 Exhaust이고, Fan Total Efficiency는 0.9를 입력하였다. 육계사에서 일령에 따른 온도 조건을 달리하며 단계에 따른 배기팬 가동 설정 조건을 변경하여야 한다. 각 단계의 설정 온도는 사육 일령에 따라 상이하게 설정되어, 사육 일령이 높을수록 낮은 온도로 설정하여 적정 사육 조건을 아래 표와 같이 제시하였다. 전체가 색칠된 원(●)은 on/off 없이 상시 작동함을 의미하고, 절반만 색칠된 원(◐)은 좌측에 명시되어있는 on, off의 시간(초)에 따라 켜짐과 꺼짐이 반복된다.
- 고온스트레스 대응이 수동적인 닭에 대하여 에너지 발생량을 내부 열원으로 모의하고 경계조건으로 반영하는 것이 필요하다. 선행연구를 통하여 닭의 주변 환경, 체중, 사료 효율 등에 따른 현열 및 잠열 발생량 경험식을 Energyplus에 내장된 EMS(Energy Management System) 를 통해 구현하였다. 입력 변수들을 시뮬레이션 결과 혹은 스케줄 값으로 입력함으로써 계산할 수 있다. EMS 기능을 구동하기 위한 Group내의 parameter들을 모델 상에 작성하였다. Variable은 Sensor를 통해 수집될 시뮬레이션 결과 항목을 의미하는데, 계산에 필요한 내부 온도와 상대습도는 Energyplus 시뮬레이션 과정에서 timestep에 따른 결과 값으로 산출되는 변수로 얻었고, 일령과 마리수는 Schedule을 통해 값을 입력받았다. 닭의 열에너지는 계사 내부 부하에 영향을 미치므로 Sensor variable를 이용하여 계산된 값을 Actuator를 통해 “InternalGain:OtherEquipment”으로 설정하여 내부 계인으로 적용하였다. 또한 시뮬레이션 연산 결과값으로 고온스트레스지수와 닭의 현잠열 발생량을 확인하기 위하여 “EnergyManagementSystem:Program” class를 이용하였다. Program에서 작성된 ERL(Energyplus Runtime Language) 이 실행될 위치를 정해야하는데, 고온스트레스 지수는 “EndOfZoneTimestepBeforeZoneReporting”을 선택하여, 매 zone timestep에서 출력 결과가 생성되기 직전에 Program을 실행시켰다. 해당 calling point는 사용자 정의 출력 변수(Custom Output Variable)를 생성할 때 유용하기 때문이다. 다음으로 현잠열 발생량은 “BeginTimestepBeforePredictor”를 선택하여 매 timestep의 시작과 동시에 그리고 zone의 부하를 계산하기 전에 실행시켰다. 이전 timestep의 결과와 현재의 기상데이터에 의한 내외부 열 획득 관련된 컴포넌트 (조명, 차양장치, 설정온도) 등에 의해 사용될 때 유용하다.

<가축 고온스트레스 연산 에너지모델 스크립트 전반 예시>

```
!-Generator IDFEditor 1.51
!-Option SortedOrder

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION =====

Version,
  9.5;                !- Version Identifier

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL =====

SimulationControl,
  No,                 !- Do Zone Sizing Calculation
  No,                 !- Do System Sizing Calculation
  No,                 !- Do Plant Sizing Calculation
  Yes,                !- Run Simulation for Sizing Periods
  Yes,                !- Run Simulation for Weather File Run Periods
  No,                 !- Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods
  1;                  !- Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====

Building,
  Broiler_1Z,         !- Name
  0,                  !- North Axis {deg}
  Country,            !- Terrain
  0.05,               !- Loads Convergence Tolerance Value {W}
  0.05,               !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
  ,                   !- Solar Distribution
  ,                   !- Maximum Number of Warmup Days
  ;                   !- Minimum Number of Warmup Days

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:INSIDE =====

SurfaceConvectionAlgorithm:Inside,
  TARP;               !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:OUTSIDE =====

SurfaceConvectionAlgorithm:Outside,
  DOE-2;              !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: HEATBALANCEALGORITHM =====

HeatBalanceAlgorithm,
  ConductionTransferFunction, !- Algorithm
  200,                 !- Surface Temperature Upper Limit {C}
  0.1,                 !- Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K}
  1000;                !- Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP =====

Timestep,
  6;                   !- Number of Timesteps per Hour

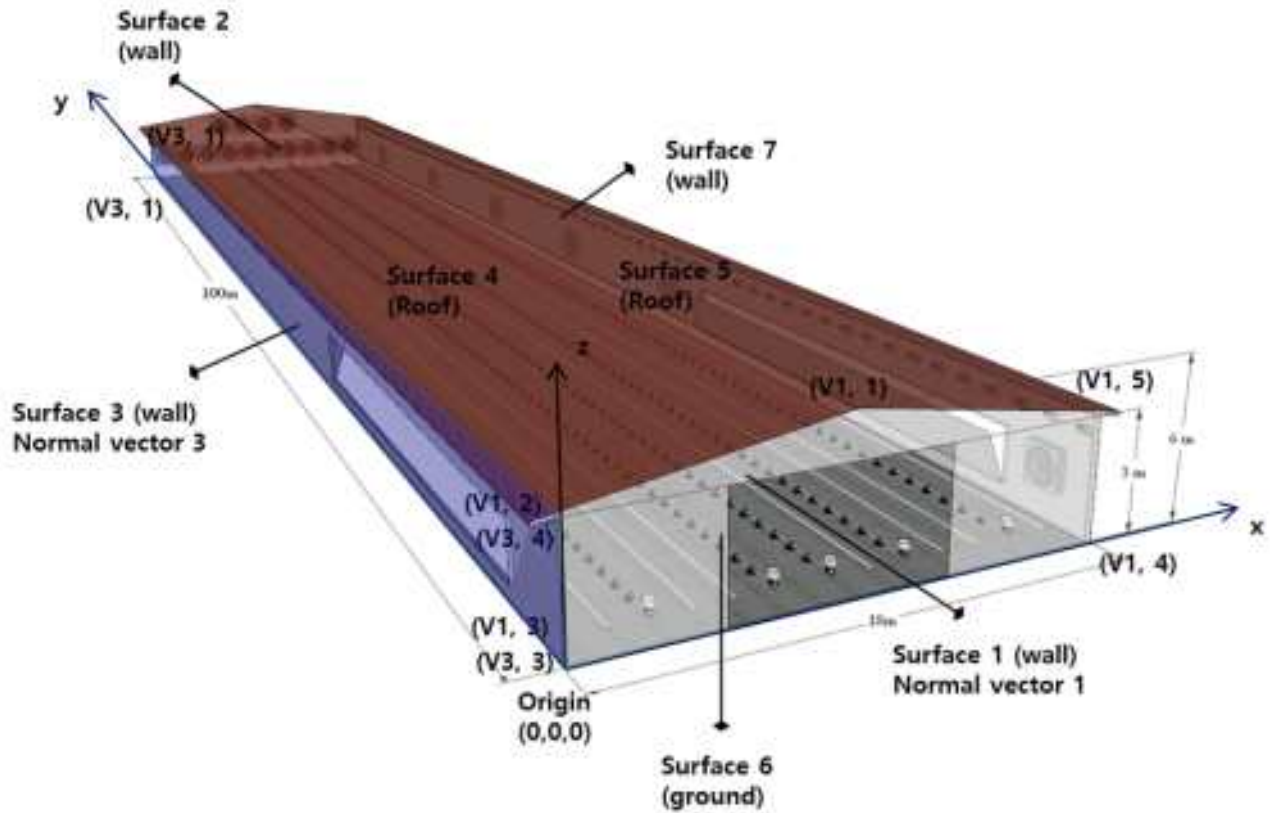
!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION =====

Site:Location,
  KWANGJU - KOR IWEC DATA WMO=471560, !- Name
  35.01,                !- Latitude {deg}
  126.2721,             !- Longitude {deg}
  9,                    !- Time Zone {hr}
  72;                   !- Elevation {m}

.....
.....
.....
```

<사용자 입력 변수에 따른 에너지 모델 값 변환 정보>

Script line	Variable	Comment	사용자 입력 변수
11	9.5;	Version Identifier	프로그램 버전
69	KWANGJU - KOR IWECC DATA WMO=471560	Name	사용자 축사 주소
70	35.0100,	Latitude {deg}	
71	126.2721,	Longitude {deg}	
143	7,	Begin Month	연산 기간
144	15,	Begin Day of Month	
146	7,	End Month	
147	17,	End Day of Month	
2605	Neo_WALL,	Name	벽면 단열재 종류
2607	0.1,	Thickness {m}	벽면 단열재 두께
2608	0.032,	Conductivity {W/m-K}	벽면 단열재 물성치
2609	25,	Density {kg/m3}	
2610	1500,	Specific Heat {J/kg-K}	
2611	0.9,	Thermal Absorptance	
2612	0.4,	Solar Absorptance	
2613	0.5;	Visible Absorptance	
2616	Neo_ROOF,	Name	지붕 단열재 종류
2618	0.15,	Thickness {m}	지붕 단열재 두께
2619	0.032,	Conductivity {W/m-K}	지붕 단열재 물성치
2620	25,	Density {kg/m3}	
2621	1500,	Specific Heat {J/kg-K}	
2622	0.9,	Thermal Absorptance	
2623	0.4,	Solar Absorptance	
2624	0.5;	Visible Absorptance	
2933	Always On Continuous,	Availability Schedule Name	쿨링패드 사용 유무
2934	72,	Direct Pad Area {m2}	쿨링패드 면적
2935	0.1,	Direct Pad Depth {m}	쿨링패드 두께
2936	370,	Recirculating Water Pump Power Consumption {W}	쿨링패드 펌프 소비정격
2991	SET day = 1,	Program Line 1	일령
2993	SET Head = 37000,	A4	사육 마릿수
2998	SET day = 1,	Program Line 1	일령
3000	SET Head = 37000,	A4	사육 마릿수



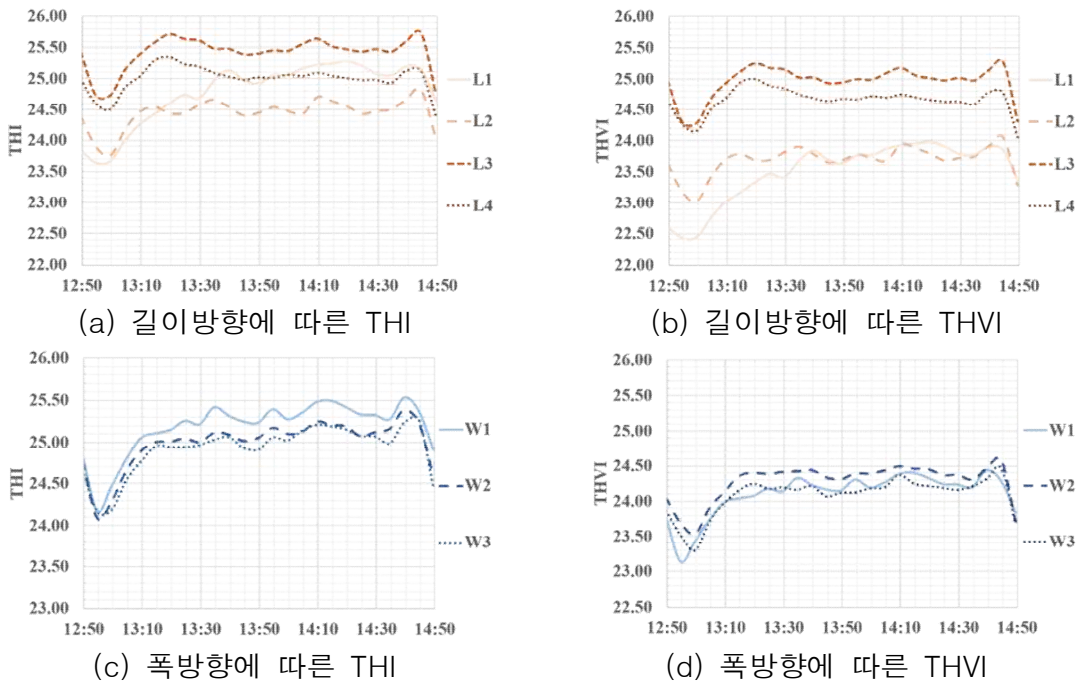
<육계사 3차원 구조 벡터 설명자료>

<육계사의 설정 온도 단계에 따른 배기팬 가동 조건>

Level	On (s)	Off (s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15	50	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	22	47	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	31	42	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	36	33	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	47	26	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	60	18	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0	0	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	20	50	●	●	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	30	30	●	●	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0	0	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0	0	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0	0	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0	0	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0	0	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-
15	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-
16	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-
17	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-
18	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-
19	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-
20	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-
21	0	0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

2) 지역별 축사 및 사육환경 별 고온스트레스 분석 데이터베이스 구축

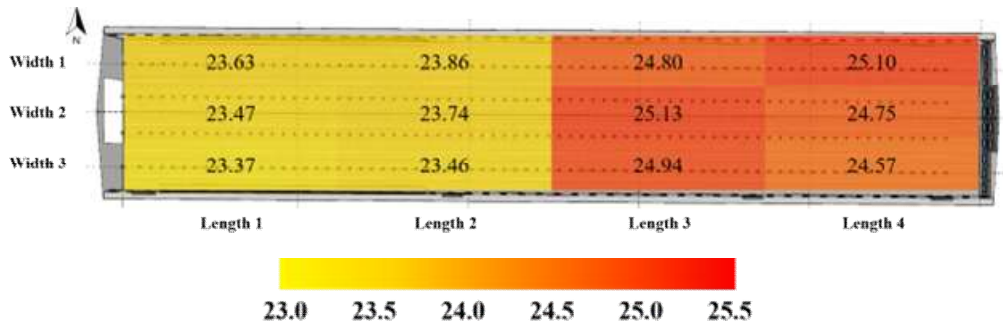
- 온도와 습도를 고려한 THI를 산정한 뒤, 유속이 계군에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 THVI 지수를 산정하였다. 앞서 실험한 유속 자료를 활용하기 위해 외부 기온이 한국 사양 표준(가금)에서 제시하는 적정 온도보다 높았던 기간 중 10월 20일 12시 50분부터 14시 50분 (평균 온도 30.96℃, 최대 31.54℃, 최소 30.58℃)까지 최대 환기를 가정하여 결과를 분석하였다. 유속을 측정된 구역 2, 3의 평균값을 L1으로, 구역 4, 5의 평균값을 L2로, 구역 6, 7의 평균값을 L3로, 구역 8, 9의 평균값을 L4로 계산에 활용하였다. 폭 방향은 L, M, R 구역의 값을 각각 W1, W2, W3에 적용하였다. THVI 분석 결과를 THI와 비교하였다. 우선, 길이 방향에 대해 유속이 높은 구간인 L1에서 5.15% 저감되어 L2에 비해 L1에서 높았던 THI의 경향성이 뒤바뀌게 되었다. 즉, 유속이 높아 계군에 미치는 스트레스 지수가 낮아진 것이다. 또한, L3와 L4의 경우 유속의 영향이 1%대로 미미하였고, 온습도의 영향을 그대로 받아 L3, L4 순으로 높은 지수가 산정되었다. 다음으로, 폭 방향에 대해 분석한 결과, 유속이 높은 W1에서 4.29% 저감되어 기존에 가장 높은 THI 지수를 보였던 것에 반해 THVI 지수는 감소하여 W3와 유사한 값을 보였다. 또한, 유속이 낮은 구간인 W2에서 저감율은 2.85%로, 낮은 유속으로 인해 고온스트레스 지수 저감이 낮은 것을 확인할 수 있다.



<계사 폭 및 길이방향에 따른 THI와 THVI 분석>

- 또한, THVI 자료를 여러 단계로 나누어 구역별 THVI를 도시하였다. 가장 THI가 낮았던 구간인 구역 L1 - W3 (23.37)에 비해 THI가 가장 높은 구역 L3 - W2 (25.13) 7.55% 증가한 것으로 나타났다. 육계사 구역에 따른 온도, 습도 및 유속을 복합적으로 고려함으로써 터널환기 시 육계사 내부 사육 환경을 정량적으로 판단하여 시설 설비를 유지·보수하거나 환기 설비들의 설정을 수정하여 내부 사육 환경을 균일하게 유지할 수 있다. THVI는 THI의 식에 유속의 -0.058 제곱을 곱하여 산정한다. 따라서 유속이 1m/s 보다 낮을 때 THVI가 THI보다 높다. 또한, THI와 THVI의 입계값을 살펴보면 THI 지수의 임계값이 THVI에 비해 낮은 것을 확인할 수 있다. 이때 각 단계에서 유속은 0.68m/s(alert),

0.46m/s(danger), 0.33m/s(emergency)이다. 이를 통해 THI가 높을수록 유속이 미치는 영향이 크다. 즉, 고온의 상황에서 온·습도의 추가 제어가 어렵다면, 유속을 증가시켜 THVI 지수를 낮춘다면 계군의 고온 스트레스 지수를 낮출 수 있다.



<내부 지역별 고온스트레스 분석>

3) 고온스트레스 저감을 위한 축사 운영 권장안 제시

- 가금류가 고온에 급격히 노출되었을 때 열을 발산하기 위해 호흡-증발 기전(Richards, 1968, 1970, 1976; Seymour, 1972; Marder and Arad, 1989), 증발 피부 기전(Webster and King, 1987; Ophir et al., 2002), 복사, 현열 손실 대류(Yahav et al., 2005) 및 전도(Wolfenson et al., 2001) 등의 메커니즘을 활용하는 것으로 나타났다. 탈수는 혈떡거림과 수동적 피부 증발을 통한 증발 열 손실에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 열 챌린지 중 일정량의 물 소비는 신진대사에서 생성되지 않는 일일 수분 손실을 보충하기 위해 필요하다. 혈떡임은 또한 호흡 증발의 효능에 영향을 미칠 수 있는 경증에서 급성 호흡성 알칼리증을 유발한다(Yahav et al., 1995). 그러나 폐 공기 모세관 입구를 둘러싸고 있는 심방 평활근은 과도한 기체 확산을 제한하는 반면 증발이 진행되도록 하여 호흡성 알칼리증의 발병을 제한하는 것으로 나타났다. (Fedde, 1980). 가금류 주변의 미세한 환경을 관리하여 열 문제를 해결하고자 내부 공기 온습도에 따른 고온스트레스 모델을 개발하였으나, 물 소비량, 환기 및 주변 공기 유속, 상대습도에 따른 영향도 크다. 급성 열 스트레스에 직면했을 때 과도한 혈떡임을 제한하기 위한 초기 반응은 일반적으로 물 소비 증가이다. 산란계에서는 나중에 알 생산량과 사료 섭취량이 감소하면 감소한다. 물 대 사료 섭취 비율은 열 손실을 증가시키기 위해 열중립 온도에서 약 2:1에서 급성 열 스트레스 동안 5:1로 증가한다. 환경 온도는 식욕에 뚜렷한 영향을 미친다. 사료 섭취량의 감소는 주변 온도가 21°C에서 30°C로 0.6°C 상승할 때마다 1%, 32°C에서 38°C로 1°C 상승할 때마다 3%로 추정된다(Smith and Oliver, 1972).
- 다음으로 현열 손실의 주 성분인 대류의 효율을 극대화하여 적절한 환기가 필요하다. 주변 온도가 열중성 영역의 상한선을 초과할 때 현열 손실이 그다지 중요하지 않다고 일부 사람들은 가정해 왔지만(Hillman et al., 1985) 가금류에 대한 많은 연구에서 환기의 유익한 효과가 입증되었다. (Drury, 1966; Wathes and Clark, 1981; Mitchell, 1985; Lacy and Czarick, 1992; Timmons and Hillman, 1993; Tzschentke et al., 1996, Simmons et al., 1997, 2003, Lott et al., 1998, May et al., 2000, Czarick et al., 2000, Tzschentke and Nichelmann, 2000, Yahav et al., 2004a) 적절한 속도로 이동하는 공기를 이용하여 새의 열을 빼앗는데, 깃털의 주름과 날개의 처짐은 공기가 깃털 사이를 이동하도록 하고 피부와 접촉하여 대류 손실을 증가시킨다. 가금류는 35°C에서 초당 2.55 미터의 풍속에 노출되는 상황과 거의 동일한 속도의 공기에서 29°C에서 열을 잃는다

(Donald, 2001). 바람에 의한 열 감소 효과는 기온이 체온을 초과하지 않는 한 비교적 잘 작동하고 새가 적절한 열 구배를 유지하기 위해 더운 날씨에 체온을 높이는 경향이 있다. 풍속을 변경하기 위해 가금류 계사 내에 설치된 팬은 육추 기간이 완료된 후 주변 온도에 따라 기류 방향을 변경할 수 있어야 한다. 주변 온도가 상승하고 육계의 깃털이 더 무거워짐에 따라 팬은 수평으로 향하는 팬의 경우와 같이 일반적으로 새 위의 공기를 휘젓기보다는 점차적으로 새에게 더 직접적으로 불어야 하며, 이는 풍속을 증가시킨다. (Czarick, 1989; Bottcher et al., 1993). 35°C의 주변 온도에서 최대 6주령 육계 성능은 2.0m/s의 풍속에서 30°C에서 2.5m/s가 더 잘 수행됐다. 그러나 25°C에서 최대 성능을 얻으려면 공기 속도를 0.8m/s로 줄여야 했다. 이는 낮은 온도에서 높은 환기율이 너무 많은 열을 제거하고 냉각 효과를 유발하여 유지 관리를 위한 에너지 소비를 증가시키고 성장을 감소시킬 수 있음을 시사한다. 육계의 25°C와 30°C에서 환기가 0.8m/s에서 2.5m/s로 변할 때 관찰된 체온 범위는 40.4°C에서 41.1°C에 불과했으며, 이는 체온 자체가 생산적 성과와 직접적인 관련이 있다. 그러나 0.8m/s에서 43.9°C, 3.0m/s에서 43.2°C의 체온으로 표현되는 것처럼 육계가 35°C에 노출되었을 때 체온에 대한 환기율의 유의한 종 모양의 반응이 관찰되었다. 1.5 및 2.0 m/s에서 체온은 대략 42.85°C이었다(Yahav et al., 2004). 더운 날씨 동안 대류 열 손실을 증가시키는 더 빠른 공기 속도는 터널 환기 축사의 이점의 대부분을 설명한다. (Czarick and Tyson, 1989). 터널 축사에서 생성된 높은 풍속과 증발 냉각 시스템(패드 또는 분무기)의 조합은 유효 공기 온도를 크게 낮추고 새와 주변 축사 환경 사이의 열 구배를 증가시켜 현열 손실을 최대화할 수 있다. 뿐만 아니라 대류 열 손실을 증가시킨다.

- 증발은 현열을 사용하여 물을 증발시키고 수증기에 갇힌 에너지로 인해 잠열을 생성함으로써 열을 전달하는 것이다. 가금류는 땀샘이 없지만 폐와 피부에서 수분을 증발시킬 수 있기 때문에 증발 손실을 증가시키기 위해 스스로 노력할 것이다. 증발 열손실에 대한 상대습도에 대한 영향은 높은 상대습도로 인해 증발 열손실이 제한될 때 새가 대류 같은 현열 손실 및 축열을 증가시킨다는 것을 입증하였다. (Romijn & Lokhorst, 1966) 그러나 Canton et al. (1983)은 체온이 주위 온도에만 영향을 받는다고 결론지었고, Yahav et al. (1995) 및 Yahav (2000b)는 다양한 수준의 상대 습도에서 높은 주변 온도에 육계를 순응함으로써 60 ~ 65% 상대 습도에서 최대 성장률과 사료 섭취량을 생성한다는 것을 발견했다. 즉 상대 습도에 대한 육계 성장 반응에 대한 변화는 명확하지 않지만 상대 습도의 차이는 높은 주변 온도에서 유지 관리에 필요한 에너지 소비(즉, 체온 조절에 필요한 에너지)에 영향을 미칠 수 있습니다. 실제로, 육계가 높은(70 ~ 75%) 상대 습도와 낮은(40 ~ 55%) 상대 습도에서 고열을 발생시켰지만 60 ~ 65% 상대 습도에서만 정상 체온 범위를 유지할 수 있음을 보여주었다. (Yahav et al., 1995) 그러나 고온 스트레스를 제어하기 위한 복잡한 환기 시스템은 온화한 기후에서 매년 제한된 시간 동안만 필요할 수 있으며, 이는 그러한 시스템의 비용과 산발적인 고온 스트레스 문제 사이에 경제적 딜레마를 일으킬 수 있다(Bottcher et al., 1993). 더욱이 밤 온도가 서늘할 경우 새가 고온 스트레스를 더 잘 견딜 수 있는 것으로 나타났다. (Smith and Oliver, 1972). 그러므로 상업적으로 큰 축사는 주간 온도 보다는 일일 온도를 낮추는 환기 전략을 보통 사용한다. 야간의 적극적인 온도 조절이 전력 요금도 저렴한 시간을 이용할 수 있기 때문에 효과적이다. 산란계가 밤에 일반적으로 낮은 주변 온도에 노출되도록 하면 오후의 가장 더운 시간에 저장된 열을 발산할 수 있으며 높은 주변 온도의 많은 역효과를 방지할 수 있다 (Smith and Oliver, 1971, 1972).

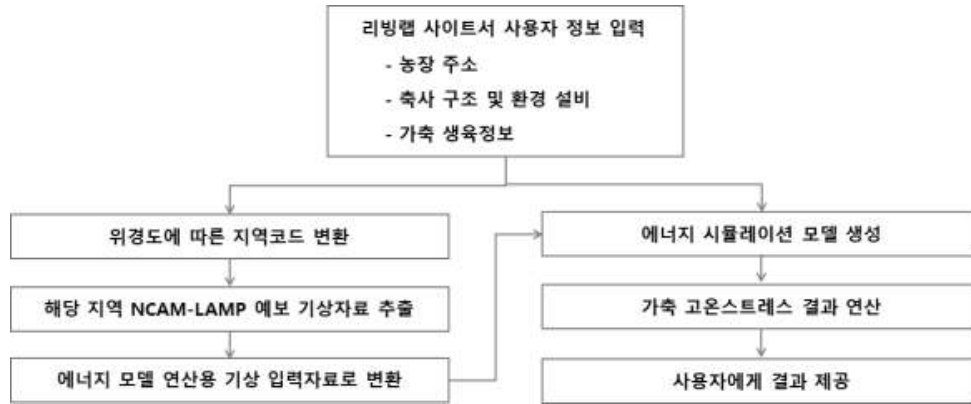
○ 실증모델 홈페이지 구축 및 리빙랩 운영

1) 홈페이지 구축 및 연산 결과 생산체계 안정화

- 리빙랩 실증 홈페이지 구축을 위한 웹서비스 과정은 다음 연구 흐름도와 같이 나타낼 수 있다. 리빙랩 사이트에서 사용자에게 농장 주소와 축사 구조 및 환경 설비, 가축 생육정보를 입력받게 되며, 각 변수들은 아래 표에 제시되어 있다. 축사 폭과 길이, 축고 및 동고, 벽면/지붕 단열재두께 및 종류, 쿨링패드 사용 유무, 팬 개수 및 사이즈는 축사 구조 및 환경 설비에 해당하며 일령과 사육 마리수는 가축생육 정보에 해당한다. 제공받은 농장 주소를 이용하여 축사의 위경도를 알아낼 수 있다. 기상청 openAPI 격자를 기준으로 하여 전북지역 1km당 위경도 격자가 매핑이 되어있는 자료를 이용하여 District code를 나눌 수 있다. code “45790” 이라면 앞 두자리 45는 전라북도를 의미하고 790은 고창군을 의미하며 각 시군별로 제시되어 있다. 입력된 농장 주소가 위치한 지역의 기상자료가 가축 고온스트레스 모델의 입력자료로서 필요하다. NCAM 연구팀에서 제공하는 LAMP 기상 예보자료로 예보 구간의 자료만 업데이트하여 일년치 Energyplus 기상자료를 연산이 필요한 시점마다 파일이 생성된다. LAMP (Land-Atmosphere Modeling Package) 는 국내 최초의 농림업지원전용 수치모델링시스템 패키지로 농업, 임업, 축산 분야의 국가 기관, 지자체, 산업체, 학교 연구소 등 다양한 수요자에게 제공하는 고해상도 기상예측자료이다. 기압, 기온, 바람, 습도, 강수 등 전통적인 기상변수는 물론 토양온도, 토양수분, CO2, PM10 PM2.5 등 다양한 변수에 대해서도 고해상도 중장기 모의 및 예측자료를 생산하여 가뭄, 서리, 우박, 용수량, 작물생육, 가축 고온스트레스 및 질병, 미세먼지, 산사태 등의 상세 진단과 예측을 지원하고 있다. 주에 2회 (월요일, 수요일) 생산되고 제공되며 회당 예측 기간은 중기 기상예측에 해당하는 12일이다. 또한 시간 해상도는 30분이고 공간해상도는 약 810m 이다. LAMP 파일 형식은 Netcdf (.nc)이고, Energyplus 모델에 입력될 기상자료 파일 형식은 EnergyplusWeater (.epw)로 각 기상자료마다 가지는 파일 특징과 내부 변수를 분석해보았다. 먼저 nc 파일은 한 파일에 모든 지역 데이터가 포함되어 있으며 시간대 별로 파일이 생성되고 파일당 약 100MB로 제공되므로 예보되어 제공되는 파일을 한 개로 merge할 경우 굉장히 큰 파일이 생성되어 하드디스크 용량이 필요하다. epw는 한 파일에 농가에 해당하는 한 지점의 일년데이터 만을 가지며 약 1.5MB 이다. 두 자료의 변수들은 다음 표와 같다. Energyplus 프로그램에 입력되어야 하는 기상자료 중 variable 변수로서 단위 시간당 값을 필요로 하는 변수를 먼저 다음 표에 나타내었다. 이 중 내부 모델 연산에 영향을 주는 변수로는 건구온도, 노점온도, 상대습도, 대기압, 수평 적외선 복사강도, 직접 수직복사, 확산 수평복사, 풍향, 풍속, 운량, 불투명 운량, 눈 깊이, 강수 깊이 등이 있다. LAMP 기상자료도 아래 표와 같이 여러 변수들을 가지고 있으나 epw에 필요한 기상 변수들 중 없는 것을 추가하였다. 10m 연직바람, 상대습도, 10m 풍향 및 풍속, 해수면기압, 하층운량, 총운량, 직달일사, 법선면 질달일사, 산란일사, 적설깊이, 수평 장파복사 강도 등을 추가하였다. 하층운량은 등압면 850hpa 운량을, 총 운량은 연직 최대 운량을 기준으로 하여 생성하였고 수평 복사강도는 Walton (1983), Clark and Allen (1978) 를 참고하여 계산하였다. 또한 기존에 동일하게 가지고 있는 변수들도 단위를 통일하였다.
- nc 파일은 전북 전체 위치의 한 지점의 기상데이터를 가지고 있으므로 예보된 기상자료 중 농가가 위치한 필요 지역의 값만 가져올 수 있도록 jupyter notebook를 활용하여 코딩하였다. 스크립트는 아래와 같으며 원본 epw 파일 헤더 부분의 위경도 값과 nc 파일 내부에 존재하는 target 위경도 값이 완벽하게 똑같아야 위경도에 해당하는 지역의 값을 추

출할 수 있다. 변경해야 할 값은 2번 cell의 날짜 데이터와 4번 cell의 original, merged file 이름이다. 사용하고자 하는 기간과 파일명에 맞게 수정하여야 하며 만약 입력값을 콘솔, shell로 받아야 한다면 두 cell만 고쳐주면 된다. 또한 month와 day가 한자리 수 인 경우 앞에 0을 붙여 무조건 두 자리를 만들어 주어야 한다. 또한 nc 파일은 00시00분부터 23시 30분까지 파일이 하루에 생성되며 다음 기간을 하루 기준으로 삼았다. 새로 제공받은 nc 파일의 오늘 0시는 원본 epw 파일에서 어제 24시로 판단되므로 일자 수정이 필요하다. 다음과 같은 과정을 통하여 epw 파일이 예보데이터를 포함하여 새로 생성되었다.

- 다음으로 개발된 에너지 모델은 energyplus 프로그램을 이용하여 idf 파일을 생성하였다. 사용자가 입력한 축사 구조 및 환경 설비와 가축 생육 정보 값이 해당 내용이 포함된 라인에 입력되어 연산될 예정이며 3일간의 고온스트레스 연산 시간은 약 2초 소요된다. 연산 기간은 예보한 시점으로부터 하루(내일)와 이틀 뒤(모레)이며, 초기값에 따른 연산 결과값 차이가 발생하므로 연산하고자 하는 날의 전날부터 다음날까지 약 3 ~ 4일을 기본적으로 연산하도록 설정하였다. 사용자가 단열재 종류를 스티로폼, 네오폴, 아이소핑크, 경질우레탄 중 선택할 경우 아래 표와 같은 열용량, 밀도, 비열, 흡수율 등이 종류에 따라 입력되어 연산되도록 하였다. 쿨링패드는 사용 유무에 따라 스케줄을 나누어 사용할 경우는 always on continuous 조건으로, 사용하지 않을 경우는 always off discrete가 입력되도록 하였다. 쿨링패드 길이는 농가별로 입력되도록 시스템을 구축하였으나 정확한 길이를 모르는 농가를 위해 기본값을 축사 길이의 20%로 설정하였다. 농협에서 제작하는 2016년도 육계사 표준설계도에 따르면 축사 길이 114,300mm 일 때 쿨링패드는 30m 이며, 2019년도에 따르면 축사 길이 112,000mm 일 때 24m로 표기되어 있다. 표준설계도에서 축사 길이 대비 쿨링패드 길이를 비교한 결과 약 20%로 모델 기본값으로 차용하여 사용하였다.
- 문자 서비스와 웹 서비스 버전을 나누어 다음과 같이 사용자에게 농장 정보를 입력받고 연산된 계산 결과를 서비스별로 제공하였다. 먼저 사용자가 입력한 농장 정보 중 시간에 따라 값이 변화하는 입식 일자 및 현재 일령, 사육 마릿수 값을 편의성을 위해 하절기에 사용자에게 주 및 월 1회 양식을 전달하여 갱신하도록 하였다. 현재 농장의 정보를 입력을 권유한 후 사용자가 입력할 경우 값을 이용하여 연산한 계산 값은 10분 단위시간에 따라 동적에너지 모델을 사용하여 계산하고 결과 값을 사용자에게 알림 서비스를 통해 제공하였다. 제공되는 정보로는 날짜, 예보 외부 기온, 예상 내부 평균 및 최고 공기 온도, 폐사 발생 위험지수 높은 시간대 및 고온스트레스 지수값을 제공하였다. 고온스트레스 지수에 대한 간단한 설명과 결과에 대한 판단기준을 아래 표와 같이 명시하여 사용자가 수치 값을 통해 시설 내부에 있는 육계의 상태를 이해할 수 있도록 하였다. 또한 육계사 관리 종사자가 대개 고령임을 감안하여 지수별 위험 정도를 쉽게 인지하도록 돕기 위해 단계별로 색을 나누어 표현하였다.



<가축 고온스트레스 모델의 서비스 연산 과정>

<가축 고온스트레스 예측 서비스 사용자별 입력 변수>

		데이터	예시	설명	단위	입력 방법	기타
사 용 자 입 력	농장 주소	location	127° 35'	축사 위도 및 경도	-	주소 입력 도입	입력된 전복시 주소를 위도, 경도로 변환 필요
	축사 구조 및 환경 설비	farm width	18	축사 폭	m	상수 입력	min 0, max 50
		farm length	80	축사 길이	m	상수 입력	min 0, max 120
		farm side height	4	축사 측고	m	상수 입력	min 0, max 10
		farm ridge height	6.4	축사 동고	m	상수 입력	min 0, max 10
		wall insulation thickness	100	벽면 단열재 두께	mm	상수 입력	min 0, max 1000
		roof insulation thickness	150	지붕 단열재 두께	mm	상수 입력	min 0, max 1000
		insulation type	EPS	단열재 종류	-	옵션 선택	스티로폼/ 네오폴/ 아이소핑크/ 경질우레탄
		cooling pad length	0, X	쿨링패드 사용 유무	-	옵션 선택	0/ 1
	Number of fan	14	팬 개수		상수 입력	min 0, max 20	
	Fan size	50	팬 사이즈	”	옵션 선택	30인치/ 50인치	
가축 생육 정보	raising days	5	일령	day	상수 입력	min 0, max 60	
	breeding scale	34,000	사육 마릿수	head	상수 입력	-	
제 공 결 과	heat stress index	75	고온 스트레스 지수	-			
	air temperature	27	축사 내부 온도	℃			
	relative humidity	60	축사 내부 습도	%			

<단열재 종류별 물리적 특성>

	스티로폼	네오폴	아이소핑크	경질우레탄
	eps	neo	xps	snc
Conductivity	0.037	0.032	0.028	0.023
Density	25	25	25	35
Specific heat	1500	1500	1500	1400
Thermal absorptance	0.3	0.7	0.7	0.7
Solar absorptance	0.7	0.7	0.7	0.6
Visible absorptance	0.3	0.3	0.3	0.3

<EP 프로그램 입력 기상변수>

변수명	단위	범위	비고
Year	-	-	-
Month	-	[1,12]	-
Day	day	[1,31]	-
Hour	h	[1,24]	-
Minute	m	[1,60]	-
Data Source and Uncertainty Flags	-	-	-
Dry Bulb Temperature	°C	[-70,70]	-
Dew Point Temperature	°C	[-70,70]	-
Relative Humidity	%	[0,110]	-
Atmospheric Station Pressure	Pa	[31000,120000]	-
Extraterrestrial Horizontal Radiation	Wh/m ²	[0,]	Not currently used
Extraterrestrial Direct Normal Radiation	Wh/m ²	[0,]	Not currently used
Horizontal Infrared Radiation Intensity	Wh/m ²	[0,]	opaque sky cover 이용
Global Horizontal Radiation	Wh/m ²	[0,]	Not currently used
Direct Normal Radiation	Wh/m ²	[0,]	-
Diffuse Horizontal Radiation	Wh/m ²	[0,]	-
Global Horizontal Illuminance	lux	[0,]	Not currently used
Direct Normal Illuminance	lux	[0,]	Not currently used
Diffuse Horizontal Illuminance	lux	[0,]	Not currently used
Zenith Luminance	Cd/m ²	[0,]	Not currently used
Wind Direction	degree	[0,360]	North=0.0, East=90.0
Wind Speed	m/sec	[0,40]	
Total Sky Cover	-	[0,10]	
Opaque Sky Cover	-	[0,10]	HIRI 입력 시 쓰이지 않음
Visibility	km		Not currently used
Ceiling Height	m	-	Not currently used
Present Weather Observation	-	0, 9	0: 추정 X, 9: 추정 O
Present Weather Codes	-	9자리	TMY2 conventions 참조
Precipitable Water	mm	-	Not currently used
Aerosol Optical Depth	-	-	Not currently used
Snow Depth	cm	-	-
Days Since Last Snowfall	day	-	Not currently used
Albedo	-	-	Not currently used
Liquid Precipitation Depth	mm	-	precipitation flag 참조 가능
Liquid Precipitation Quantity	hr	-	Not currently used

<LAMP 모델 제공 기상변수>

분류	변수명	단위	LAMP 모델에서 제공되는 기상 변수
pressure	PB		base state pressure
radiation	SAG	W/m ²	solar rad absorbed by ground
	SAV	W/m ²	solar rad absorbed by vegetable
	COSZEN	-	COS of Solar zenith angle
	FSA	W/m ²	total absorbed solar radiation
	GRDFLX	W/m ²	ground heat flux
snow	ZSNSO	m	layer-bottom depth from snow surf
	SNICE	mm	snow layer ice
	SNLIQ	mm	snow layer liquid
wind	U,V,W	m/s	wind (x,y,x)
cloud	CLDFRA	0<x<1	cloud fraction
	QCLOUD	kg/kg	cloud water mixing ratio
rain	RAINNC	mm	accumulated total grid scale precipitation
	RAINSH	mm	accumulated shallow cumulus precipitation
relative humidity	QVAPOR	kg/kg	water vapor mixing ratio
temperature	SST	K	sea surface temperature
	SSTSK	K	skin sea surface temperature
	T2	K	air temperature at 2 meter
	T2B	K	2 meter temperatrue over bare ground
	TAH	K	canopy air temperature
	TG	K	bulk ground temperature
	TGB	K	bare ground temperature
	TGV	K	ground temperature under canopy
	TMN	K	soil temperature at lower boundary
	TRAD	K	surface radiative temperature
	TSK	K	surface skin temperature
	TSLB	K	soil temperature

<동적에너지모델 입력용 기상자료 생성 코딩>

```
# pip install netCDF4
import xarray as xr
import os
import pandas as pd
from datetime import timedelta

# input parameters of date
year = "2022"
month = "05"
day = "21"

# today's date
```



```

# yesterday's date
today = pd.to_datetime(year + "-" + month + "-" + day)
yesterday = today - timedelta(1)

# input file
original = "KOR_Kwangju.471560_IWEC.epw"
tmp_date = "ncam_lamp_fcst_810m_JeonBuk_" + year + "-" + month + "-" + day + "_"
# output file
merged = 'KOR_Kwangju.471560_IWEC_Trans.epw'

# latitude, longitude
fin = open(original, 'r')
line = fin.readline()
line_split = line.split(",")
lat = line_split[6]
long = line_split[7]

# make new data list
rows = []

for hour in range(0, 24):

    if hour < 10:
        hour_str = str(0) + str(hour)

    else:
        hour_str = str(hour)

    tmp_file = tmp_date + hour_str + "_00_00.nc"

    ds = xr.open_dataset(tmp_file) # read netcdf file
    df = ds.to_dataframe() # convert to dataframe

    for i in range(2): # multi indexing delete
        df = df.droplevel(0)

    condition = (df.XLAT == float(lat)) & (df.XLONG == float(long))
    df_list = df[condition].values.tolist()

    # create a row to replace
    date = str(year) + "," + str(int(month)) + "," + str(int(day)) + "," + str(hour) + "," + "0"
    t2 = str(df_list[0][0]) + ","
    td = str(df_list[0][1]) + ","
    rh = str(df_list[0][7]) + ","
    slp = str(df_list[0][16]) + ","
    h_ir = str(df_list[0][23]) + ","
    swddni = str(df_list[0][20]) + ","
    swddif = str(df_list[0][21]) + ","
    wind_d = str(df_list[0][14]) + ","
    wind_s = str(df_list[0][15]) + ","

```

```

cldfra_total = str(df_list[0][18]) + ","
cldfra_low = str(df_list[0][17]) + ","
snowh = str(df_list[0][22]) + ","
rain = str(df_list[0][3]) + ","

FLAG = ","
EHR = "0" + ","
EDNR = "0" + ","
GHR = "0" + ","
GHI = "0" + ","
DNI = "0" + ","
DHI = "0" + ","
ZL = "0" + ","
VIS = "0" + ","
CH = "0" + ","
PWO = "9" + ","
PWC = "000000000" + ","
PW = "0" + ","
AOD = "0" + ","
DSLS = "0" + ","
ALB = "0" + ","
LPQ = "0"

if hour == 0:
    yester_date = str(yesterday.year) + "," + str(yesterday.month) + "," + str(yesterday.day)
+ ",24,0"
    tmp_row = yester_date + FLAG + t2 + td + rh + slp + EHR + EDNR + h_ir + GHR +
swddni + swddif + GHI + DNI + DHI + ZL + wind_d + wind_s + cldfra_total + cldfra_low + VIS
+ CH + PWO + PWC + PW + AOD + snowh + DSLS + ALB + rain + LPQ
    else:
        tmp_row = date + FLAG + t2 + td + rh + slp + EHR + EDNR + h_ir + GHR + swddni +
swddif + GHI + DNI + DHI + ZL + wind_d + wind_s + cldfra_total + cldfra_low + VIS + CH + PWO
+ PWC + PW + AOD + snowh + DSLS + ALB + rain + LPQ

    rows.append(tmp_row)

# insert new data into original file
fin = open(original, 'r')
fout = open(merged, 'w')
criteria = str(yesterday.year) + "," + str(yesterday.month) + "," + str(yesterday.day) + ",24,0"

while True:
    line = fin.readline()
    if not line:
        break
    if line[0:len(criteria)] == criteria:
        line = rows[0] + "\n"
        fout.write(line)
        for i in range (1, 24):
            fin.readline()

```

```

        line = rows[i]
        fout.write(line+"\n")
    else: fout.write(line)

```

```

# Test cell
test_1 = open(original, 'r')
test_2 = open(merged, 'r')

```

```

while True:
    line1 = test_1.readline()
    line2 = test_2.readline()

    if not line1:
        break

    if line1 != line2:
        print(line1)
        print(line2)

```

<웹서비스 사용자 제공 정보 스크립트 예시>

고온 스트레스 지수란?

- 기온과 상대습도를 이용하여 가축이 체감하는 스트레스 정도를 지수로써 나타냄
- 영향 없음, 경미함, 매우 심함, 폐사 위험 정도로써 4단계로 나뉨
- 육계의 임계값은 78이며, 산란계의 임계값은 81임 (Tao and Xin, 2003; DeShazer and Beck, 1988)

OOO님 ##농장의 가축 고온스트레스 예경보 서비스

- 금일 (2022-07-01) XX 일령의 XX 마리가 사육 중이며,
- 예보 외부기온 낮 최고 32oC이고 양계사 내부 평균기온은 30°C, 내부 최고기온 35°C로 예상 됨
- 금일 14:00 이후 고온스트레스 지수가 81로, 폐사 발생 위험 높음
- 더위에 계속 노출될 경우 심박수가 증가하고, 직장온도 및 피부 표면온도가 증가하며, 사료 섭취량이 감소하고 음수량이 증가함
- 위험 시간 전부터 환기팬 및 쿨링패드 가동 권유



(해당 예경보 내용은 농림기상센터 지면대기모델링 패키지(NCAM-LAMP)의 14일 전 기상예보를 이용하여 제공하는 서비스입니다.)

<고온스트레스 지수 단계별 육계 증상>

단계	지수 기준	스트레스 상태	증상
1	88 ~ 97 미만	폐사 발생 위험 심각	더위에 계속 노출될 경우 심한 헐떡거림과 탈수와 탈진이 발생하여 폐사 직전 상태
2	78 ~ 88 미만	폐사 발생 위험 높음	더위에 계속 노출될 경우 심박수가 증가하고 직장온도 및 피부 표면온도가 증가하며, 사료 섭취량이 감소하고, 음수량이 증가함
3	68 ~ 78 미만	위험 수준 경미함	더위에 계속 노출될 경우 기립 시간이 증가하는 등 행동이 변화하며 음수량이 증가함
4	68 미만	영향 없음	심박수가 안정하며 직장 및 피부 표면온도가 정상임

2) 표출시스템 시연 및 리빙랩 구성원 피드백 반영

- 농축산업 종사자를 대상으로 하여 폭염에 따른 육계사 내 닭의 고온스트레스 예측 서비스 의견 조사를 수행하였다. 기후변화에 따른 피해 조사를 통해 농축산 분야의 현안 해결을 위한 플랫폼으로의 역할을 하기 위해 리빙랩 서비스의 질과 실제 활용도를 높여 농, 축산 종사자에게 실질적이 도움을 주기 위하여 서비스를 시연하고 피드백을 반영하였다. 2022년 09월 20일 (일일 기온 최고 28°C, 최저 21°C)에 전라북도 정읍시 A농장에서 육계사 농장주 및 관리자에게 시연을 진행하고 타 농장에 대한 전반적인 현황도 파악하였다. 설문 조사에 따르면 서비스 수요자 중에 스마트폰을 사용하는 비율이 60% 정도 이나 통화, 문자 외에는 사용하지 않으며, 6~70대는 여전히 TV 뉴스의 일기 예보를 통해 날씨 정보 획득하고 4~50대는 스마트폰을 이용하는 것으로 나타났다. 또한 핸드폰 인터넷 연결 등의 문제로 현재는 스마트폰 어플 등의 사용도 쉽지 않은 환경이므로 문자 정보가 효율적이라고 판단된다. 개선 요구사항으로는 농촌의 연령대가 높기 때문에 스마트폰의 실질적인 사용 빈도가 낮아 긴급재난경보처럼 문자 정보 등이 효율적으로 판단된다. 또한 현재 시설들이 많이 낙후되어 있으며 특별한 지원책, 시설개선이 필요하며 비용에 대한 부담 해결이 필요한 상황이다. 만약 서비스가 필요하지 않다면 세세한 농장 관리 방법이 서비스에 고려되지 않기 때문이라고 답하였다. 이와 같은 답변으로 보아 날씨 정보를 농협, 축협 등에서 기상기후 관련 정보 문자 제공 받고 있으나 날씨와 동시에 관리하는 사육 시설의 정보가 고려된 가축의 고온스트레스 예측 서비스가 더 유용할 것으로 보인다. 향후에 해당 서비스를 무료로 이용할 수 있다면 농장에 활용해 볼 의견이 있으며, 전용 어플이 개발되어 점진적으로 지역 및 축종이 확대되었으면 좋을 것 같다는 의견도 있었다.



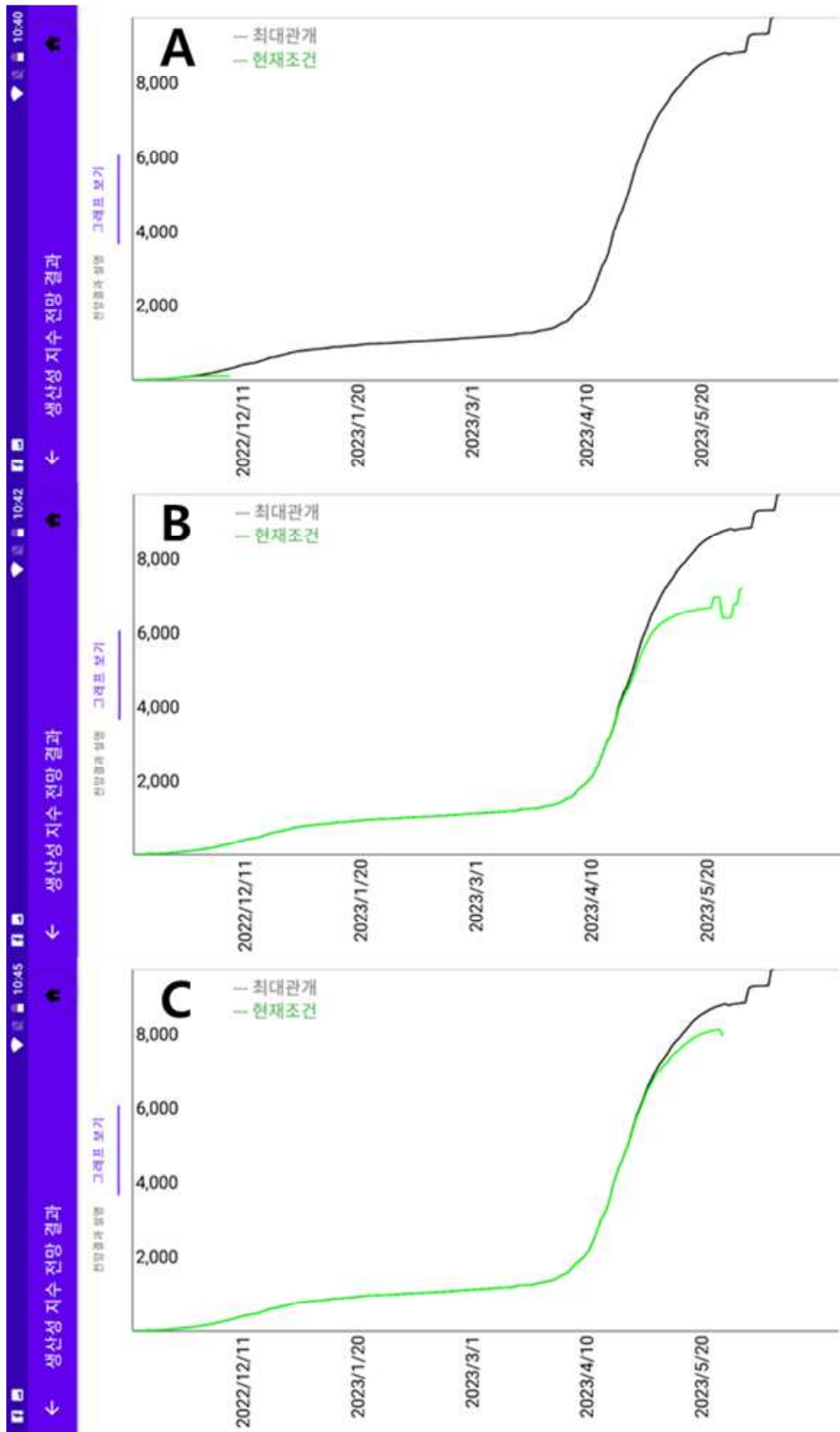
<고온스트레스 예측 서비스 사용자 의견 조사>

다. 스마트폰 기반 가뭄 피해 저감 의사결정 지원 도구 실증

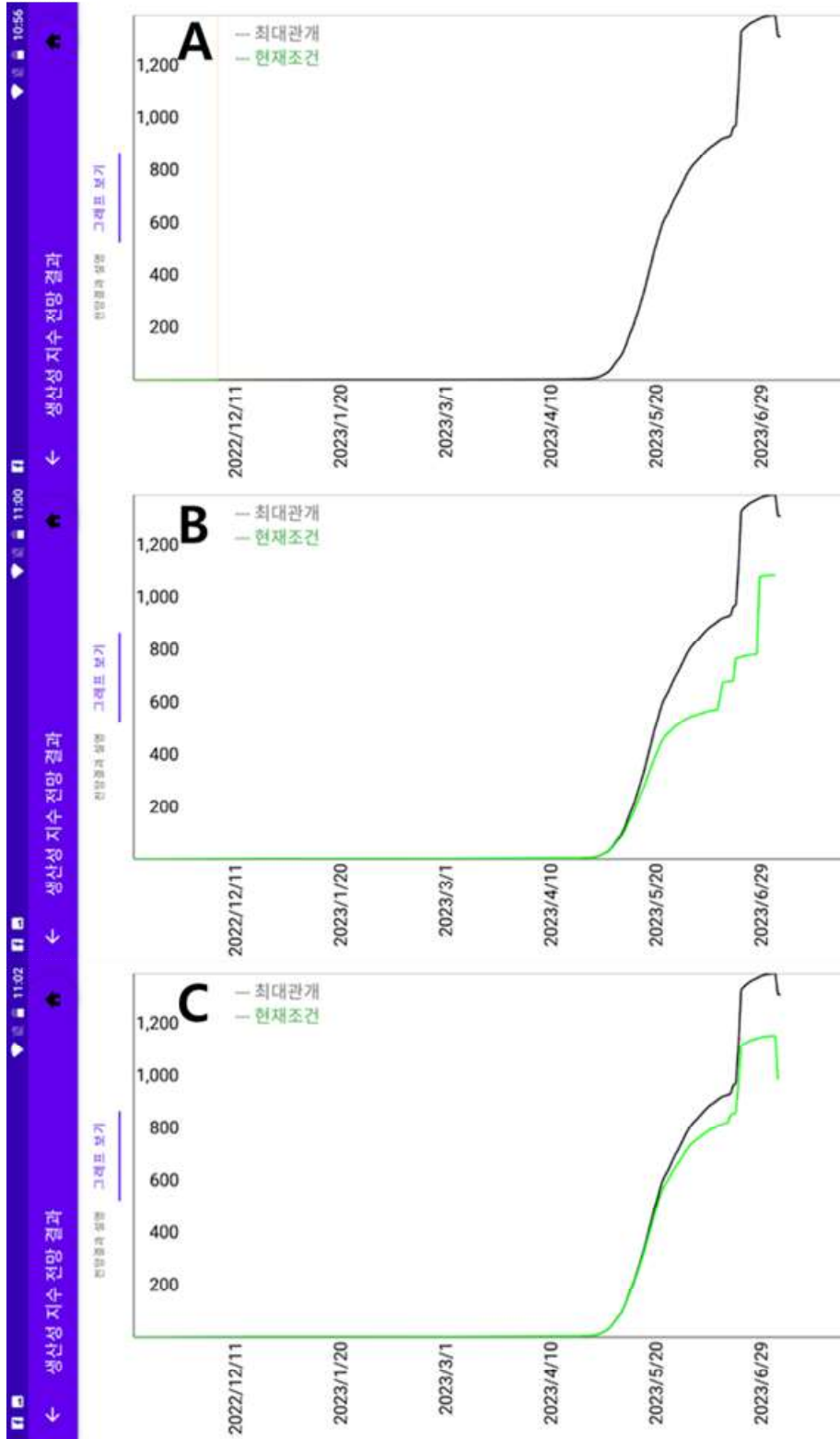
○ 가뭄피해 저감을 위한 모바일 앱 기반 의사결정 지원 효과 분석

1) 물관리 시나리오 기반 모바일 앱 기반 의사결정 지원 효과 분석

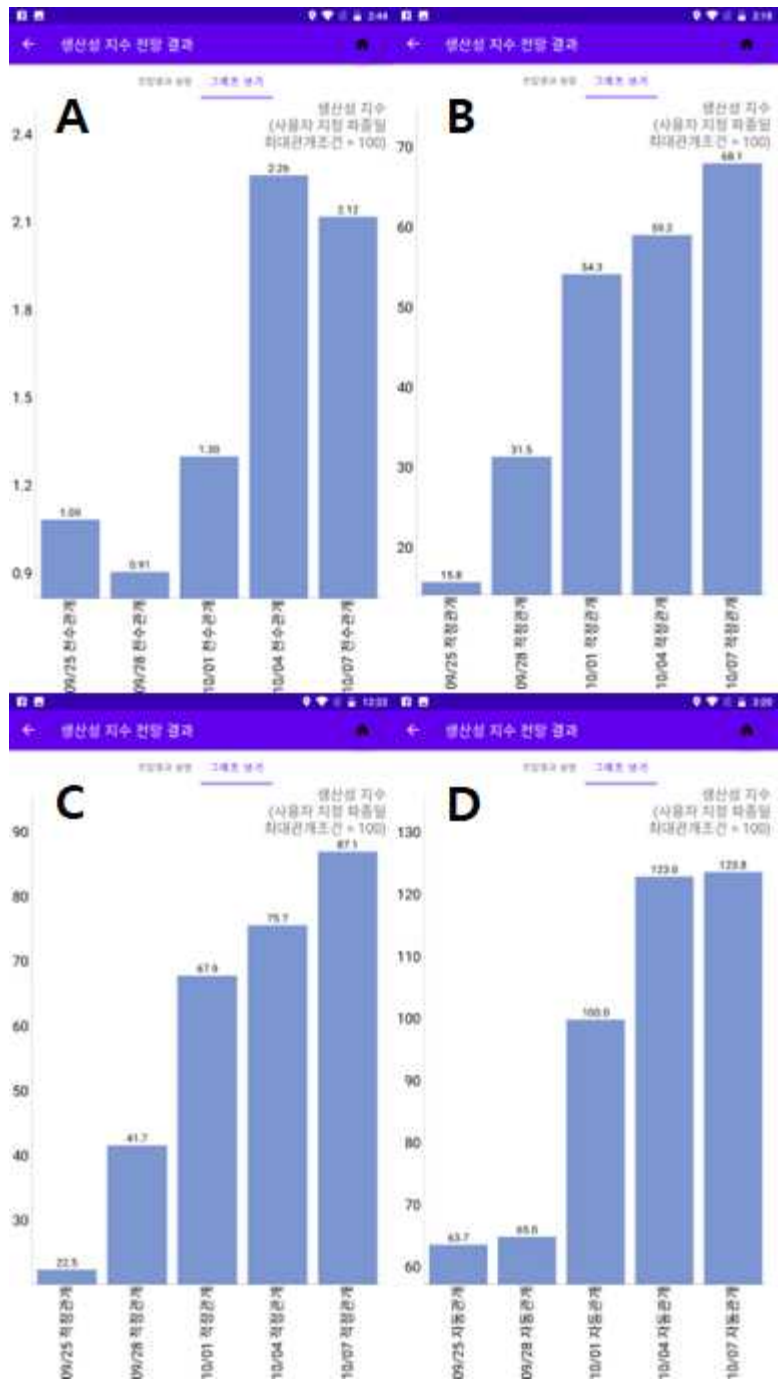
- 양파와 마늘에 대한 가뭄 피해저감 의사 결정 지원 사례 연구를 위해 작물 별 주요 생산지에서 관행 재배를 기반으로 물관리 시나리오를 생성하였다. 양파와 마늘 재배 모의를 위한 연구 지역으로 국내에서 양파와 마늘 재배면적이 가장 넓은 전남 무안을 선택하였다. 재배시작일은 관행적 정식시기인 2022년 10월 1일으로, 예상 수확일은 2023년 6월15일로 설정하였다. 마늘의 경우 재배시작일은 관행적 정식시기인 2022년 10월 1일으로, 예상 수확일은 2023년 6월 29일로 설정하였다.
- 관개 시나리오는 작물이 수분스트레스를 받지 않도록 하기 위한 최대 관수량을 기준으로 최대, 최적, 최소, 천수 관개의 네 단계로 설정하였다. 최대 관개는 작물 모형이 계산한 작물의 수분 요구량을 만족시키도록 관개량을 설정하였다. 천수 관개는 추가적인 관개 없이 강수량만을 사용하여 가뭄 스트레스를 받을 수 있는 조건으로 설정하였다. 최소 및 적정관개는 각각 필요 수분량에 10% 및 30%를 만족하도록 관수하는 시나리오로 설정하였다.
- 양파의 경우 물관리에 의한 수량 차이가 상당히 나타났다 (Fig. 25). 양파의 재배관리 시나리오별 작물 모형 구동 결과 최대 관개 조건에서는 약 10,000 kg 10a⁻¹ 이상의 수량을 보였다. 천수관개(무관개) 조건에서는 생육 초기 겨울철에 모의가 종료되어 월동을 하지 못하는 것으로 모의가 되었다. 최소관개, 적정관개는 각각 약 6,000 kg 10a⁻¹ , 8,000 kg 10a⁻¹ 로 예측이 되었다. 통계청 발표에 따르면 작황이 좋았던 해인 21년에는 8,541 kg 10a⁻¹ 의 수량을 보였는데 이는 적정관개시 수량과 유사하였고, 봄가뭄이 심각 하였던 22년 수량인 6770 kg 10a⁻¹ 와 최소관개시 수량이 유사 하였다. 이는 모바일 앱이 가뭄의 효과에 대해 잘 예측을 한다는 것을 보여 준다. 다만 양파의 생육시기별로 수분스트레스에 민감한 시기는 모바일 앱을 통해서 관찰되지 않았다.
- 마늘의 관개조건에 따른 수량 모의 결과 최대 관개 조건에서는 약 1,300 kg 10a⁻¹ 로 예측을 하였고 관개를 하지 않을 시에는 양파와 마찬가지로 모의가 종료되어 월동을 하지 않는 것으로 예측되었다 (Fig. 26). 적정 관개시가 최소 관개시 보다 큰 수량이 높았으나 큰 차이는 나지 않았고, 최소 관개시 생육 발달기간이 연장 되었다. 마늘의 통계청 전국 수량은 21년, 22년 각각 전국 평균 1,402 kg 1,220 kg 으로 모바일 앱은 봄가뭄의 영향을 잘 모의 한다고 할 수 있다. 다만 모바일 앱은 약간 수량을 과소 예측 하는 경향이 있었는데 대상지역인 전남의 수량이 전국 평균에 비해 100~200 kg 정도 낮기 때문에 모바일 앱 모의 지역인 전남 무안의 결과와 유사한것으로 보인다. 그리고 모바일 앱에서는 양파와 마늘 수량 모의시 수량이 정식날짜에 상당히 민감한 것으로 나타 났다 (Figs. 27-28).
- 모의한 결과를 보면 양파에 경우 마늘 보다 수분 스트레스에 더욱 민감하게 반응을 하였다. 이는 21년 22년 통계청 결과와도 같은 경향을 보인다. 양파의 경우 괴경 형성기와 비대기에 민감 수분스트레스에 민감하지만 다른 생육시기에 수분스트레스도 수량 감소를 유도한다고 알려져 있다. 그러므로 마늘을 재배 할 때 관개량 조절이 더욱 용이 할 것으로 예측이 된다.



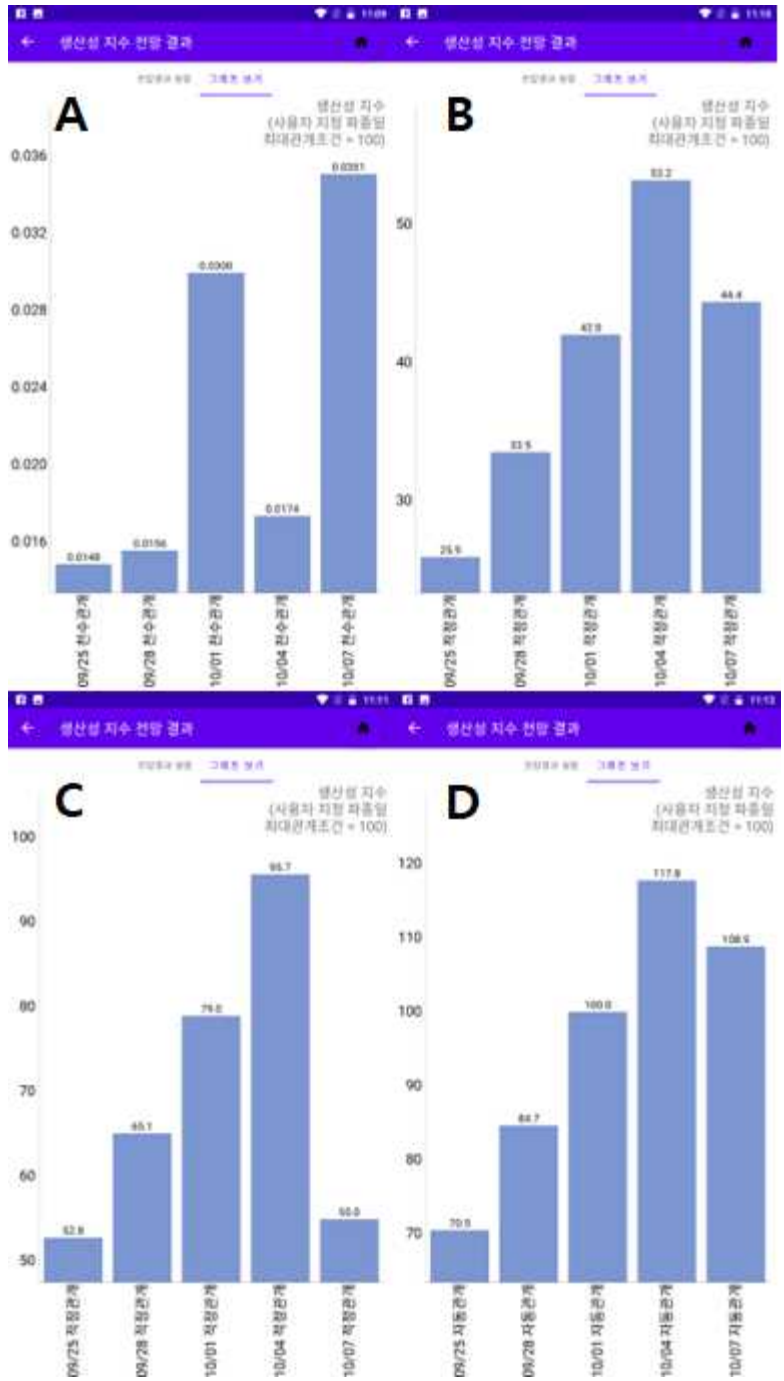
<모바일 앱 양파 시뮬레이션 결과 (A)천수관개, (B)최소관개, (C)적정관개>



<모바일 앱 마늘 시뮬레이션 결과 (A)천수관개, (B)최소관개, (C)적정관개>



<모바일 앱 기반 천수 관개 (A), 최소 관개 (B), 적정 관개 (C), 및 최대 관개 (D) 시나리오 별 정식일에 따른 양파 생산성 지수 비교>



<모바일 앱 기반 천수 관개 (A), 최소 관개 (B), 적정 관개 (C), 및 최대 관개 (D) 시나리오 별 정식일에 따른 마늘 생산성 지수 비교>

2) 리빙랩 기반 의사결정 시스템 활용성 실증

- 농가 방문 및 시연

- 양파를 재배하는 전남 지역 농가를 방문하여 리빙랩 기반 의사결정 시스템을 시연하였다. 실제 양파 재배관리를 입력하여 모바일 앱을 통한 수량성 추정을 수행하였다. 또한 농업인들이 양파 재배를 위해 필요한 서비스에 대하여 파악하였다.
- 양파 재배 농가들을 대상으로 모바일 앱 시연하였다. 이를 통해 농가에서 여러 작물을 재배할 때 물관리에 활용될 수 있음을 확인하였다. 농가에서 노균병 등 병해충 방제에 더 관심을 가지고 있어 향후 서비스 개발에서 이러한 부분에 대한 고려가 필요하였다.

라. 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 관리모델 구축 및 적용성 평가

○ 중장기기후 예측정보를 활용한 modified-SPEI 기반 농업가뭄 확산 예측 서비스

- 본 연구에서는 1차년도에 선정된 가뭄지수인 FAO Penman-Monteith 공식으로 산정한 증발산량을 적용한 modified-SPEI를 활용하여 농업가뭄 확산 예측 서비스를 실시하고자 한다.
- 표준강수 증발산지수(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)는 기후변동으로 인한 강수 변화뿐만 아니라 기온의 변동성이 미치는 영향을 반영할 수 있는 가뭄지수이다.
- 전북지역 6개 기상관측소별(군산, 전주, 정읍, 부안, 임실, 남원) 1981년부터 2010년까지를 평년값으로 활용하였다. 중장기기후 예측정보를 이용하여 지속기간 1개월, 3개월, 6개월, 12개월에 대한 가뭄지수를 서비스하고자 한다.
- 파이썬 기반의 modified-SPEI 예측모델을 구축하고, 테이블과 지도 표출을 통해 1개월~6개월 후까지 가뭄지수를 예측하였다.

<파이썬 기반 modified-SPEI 예측 서비스 모델 구축(예시)>

```
import os
import subprocess
import numpy as np
import pandas as pd
import datetime
from dateutil.relativedelta import relativedelta

from spei.model.penman_monteith import PenmanMonteith

def exec_spei(spei_output_dir, output_filename, lags=[1, 3, 6, 12]):
    filename = os.path.basename(output_filename)
    for lag in lags:
        subprocess.run(["../bin/source/spei_pet.exe", "{}".format(lag), output_filename,
            os.path.join(spei_output_dir, filename.replace(".csv", "_LAG{:02d}.csv".format(lag))])

def generate_input(input_spei_filename, df):
    with open(input_spei_filename, "wt", newline="") as f:
        f.write("146\n")
        f.write("35.8409\n")
        f.write("1981:01\n")
        f.write("12\n")
        f.write("{}\n".format(len(df)-12*38))
        for index, row in df.iterrows():
            f.write("{}:.3f;{}:.3f;{}:.3f\n".format(row["rainfall"], row["tavg"], row["ET0_PM"]))

def main():
    output_dir = "../output/database/PM"
    if not os.path.exists(output_dir):
        os.makedirs(output_dir)
    output_filename = os.path.join(output_dir, "history_146.csv")
    input_spei_filename = os.path.join(output_dir, "SPEI_input_146.csv")

    .....( 중략 ).....
```

```

if ".join(list(filter(lambda x: 'prec' in x, list(df_future.columns)))) == 'prec':
    df_future['rainfall'] = df_future['prec']
else: df_future["rainfall"] = df_future["prcp"]
if ".join(list(filter(lambda x: 'rsds' in x, list(df_future.columns)))) != 'rsds':
    df_future['rsds'] = np.NaN
else: df_future['rsds'] = df_future['rsds']
if ".join(list(filter(lambda x: 'sshine' in x, list(df_future.columns)))) != 'sshine':
    df_future['sunshine'] = np.NaN
else: df_future["sunshine"] = df_future["sshine"]
df_future.loc[df_future['rsds']==-99, 'rsds'] = 0
df_future.loc[df_future['sunshine']==-99, 'sunshine'] = 0

et0 = model.getET0(df_future)

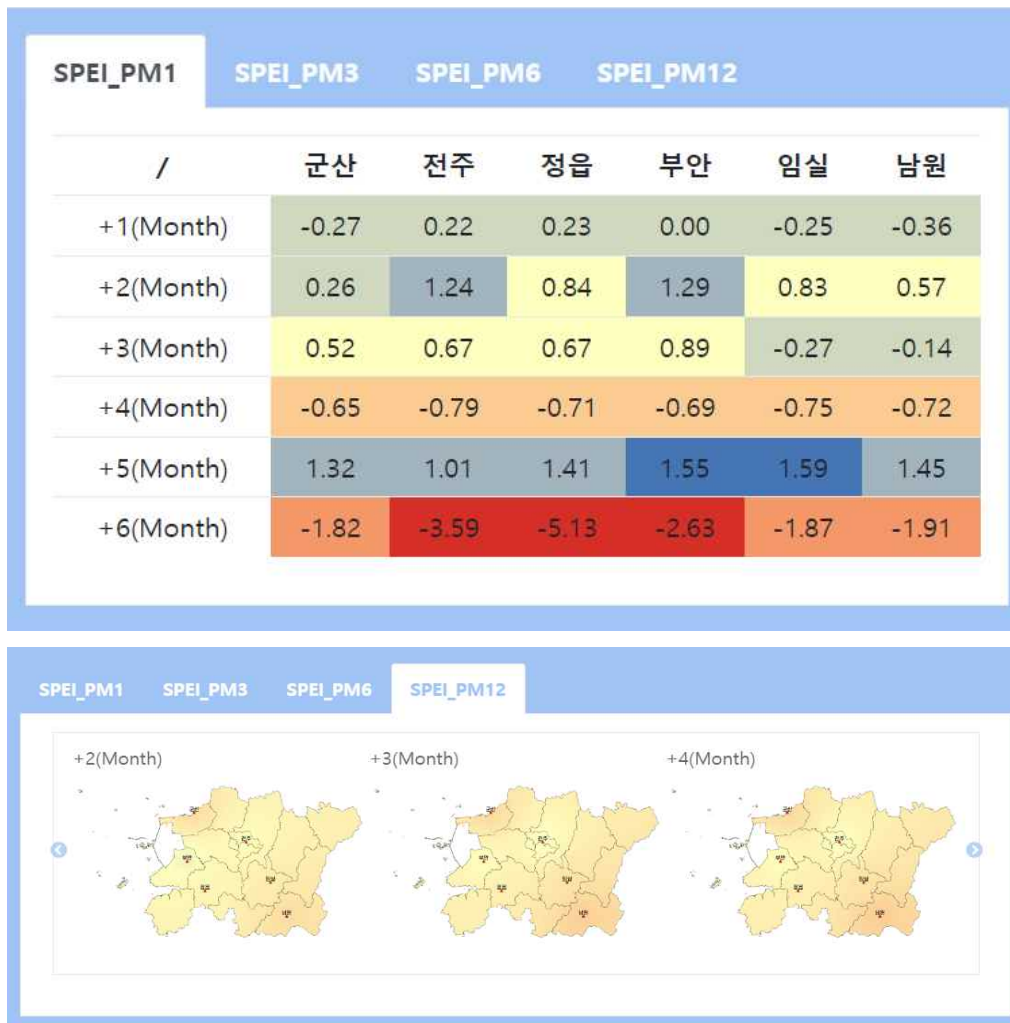
df_future["ET0_PM"] = et0
df_future["YearMonth"] = df_future["year"] * 100 + df_future["month"]
df_future_month = df_future.groupby(by="YearMonth").agg({'rainfall': 'sum', 'tavg':
'mean', 'ET0_PM': 'sum'})
df_future_month = df_future_month.reset_index()
df_hist = df_month[df_month["YearMonth"] <= future_sce[0] * 100 + future_sce[1]]
df_future_month_merged = pd.concat([df_hist, df_future_month], ignore_index=True)
df_month.to_csv(output_filename.replace(".csv", "_month.csv"), index=False)

input_spei_filename = os.path.join(output_future_dir,
"SPEI_input_{:04d}{:02d}.csv".format(station, year, month))

generate_input(input_spei_filename, df_future_month_merged)
exec_spei(output_spei_future_dir, input_spei_filename)

if __name__ == "__main__":
    main()
    future_run()

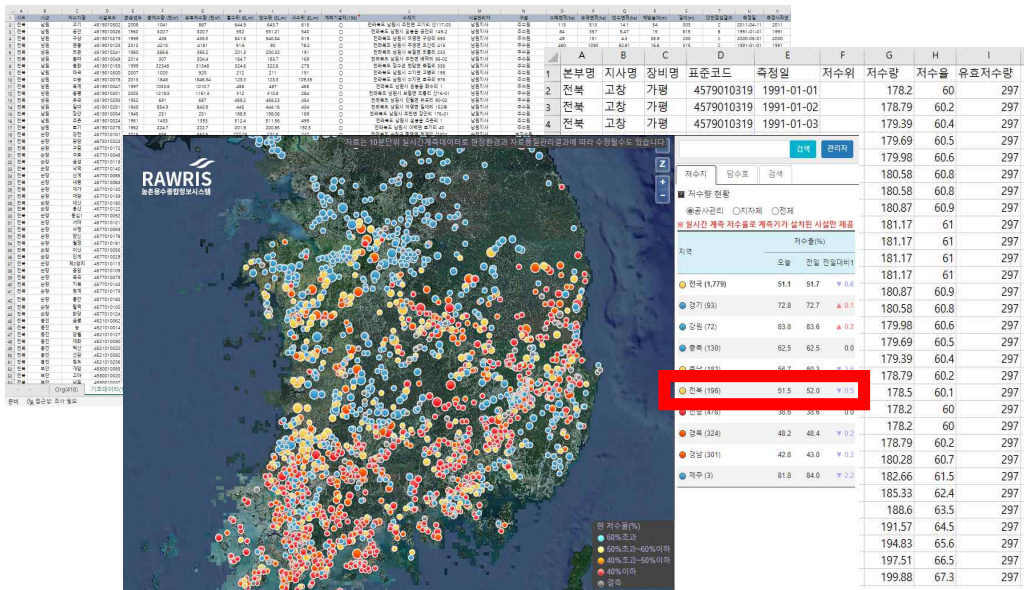
```



<가뭄예측 서비스 화면 예시>

○ **중장기기후 예측정보를 활용한 머신러닝 기반 농업용저수지 저수율 예측 서비스**

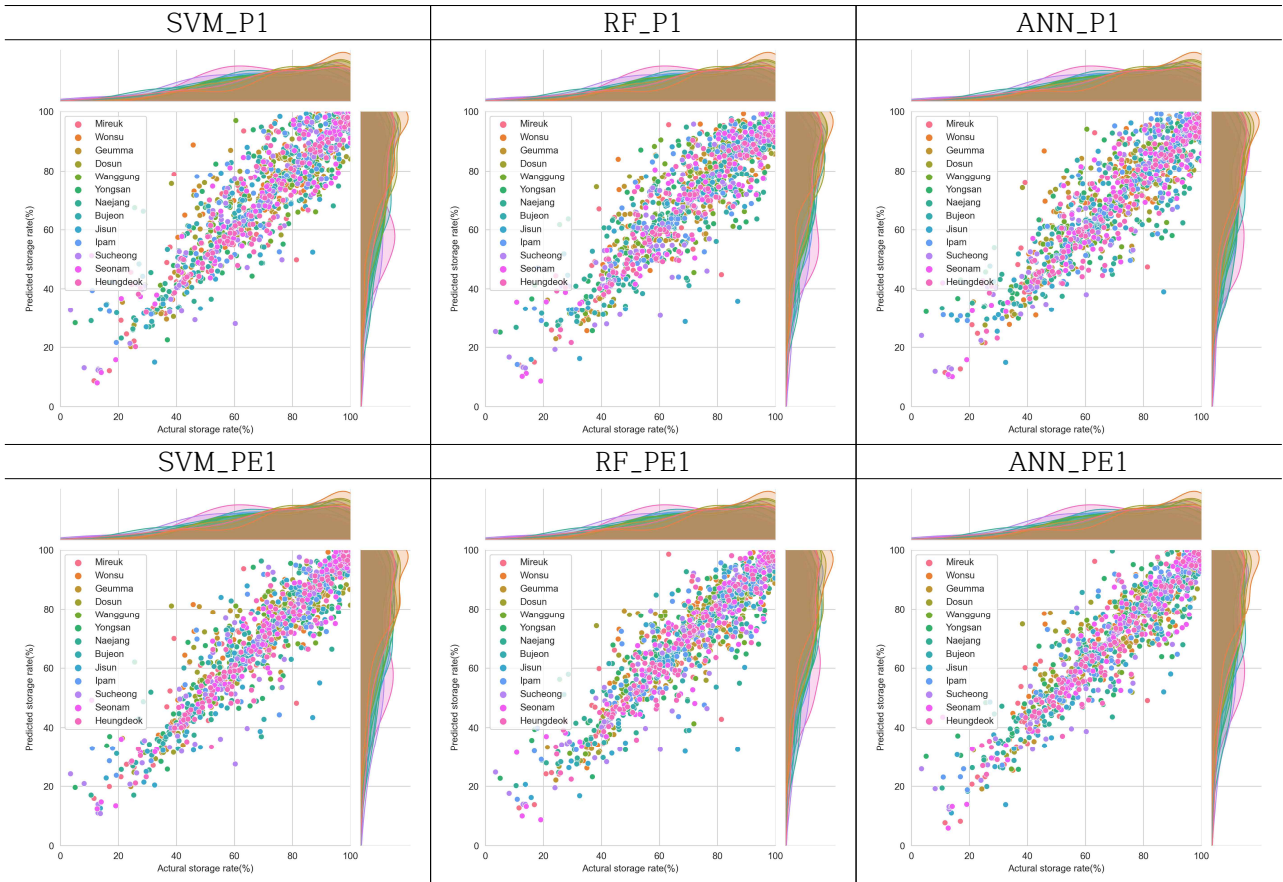
- 저수율 예측을 위해서는 상류 유역으로부터의 유입량 및 관개구역으로의 공급량에 대한 정량적인 예측이 최선이지만, 비용 및 관리인력의 한계 등 현실적인 어려움이 많다. 대부분의 수문모형은 상류 유역으로부터의 유입량만을 파악하기 위해 구성되어 농업용 저수지의 저수율을 예측하는데 제한이 있다. 또한, 관개지구의 수요량에 근거해 공급량을 추정할 수 있는 K-HAS시스템은 농업용 저수지 규모를 결정하기 위해 설계 시 사용하는 것으로 저수율 예측 및 관리에 활용되기에는 한계가 존재한다.
- 이에 본 연구에서는 저수율 예측을 위한 방법의 하나로 머신러닝 기술을 활용하고자 하며, 전북지역 농업용 저수지를 대상으로 저수율 예측 서비스를 구축한다.
- 농업용 저수지는 「농어촌정비법」 제2조 및 「농어촌정비법 시행령」 제26조에 의거 한국농어촌공사가 관리하는 1종 저수지 (총저수용량 30만㎡ 이상)를 대상으로 하며, 전북지역의 72개 저수지를 서비스 대상으로 선정하였다.
- 학습을 위해 6개 기상관측소별(군산, 전주, 정읍, 부안, 임실, 남원) 일기상자료와 농촌용수 종합정보시스템 (RAWRIS)에서 제공되는 일저수율 자료를 활용하였다.



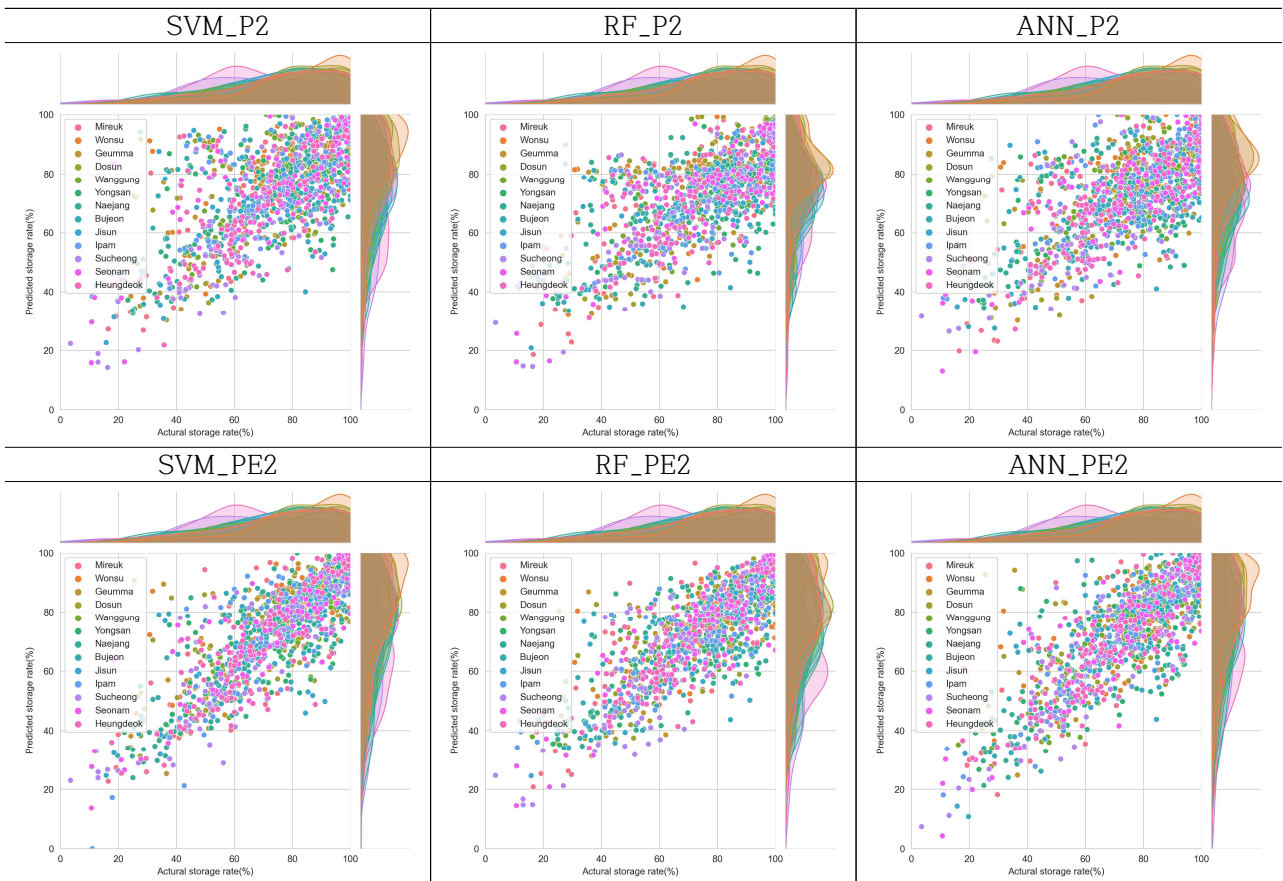
<전북지역 대상저수지 기초데이터 구축>

- 중장기 기후 예측정보를 바탕으로 생성된 학습모델을 이용하여 1개월~6개월 후의 일별 저수율을 예측하며, 가뭄 예·경보 기준인 관심, 주의, 경계, 심각 단계의 일수 정보도 함께 서비스하고자 한다.
- 저수율 예측을 위한 SVM 알고리즘의 적용성을 검토하기 위해 주요 머신러닝 알고리즘인 SVM, ANN, RF 알고리즘을 중심으로 1개월~3개월의 월평균 저수율 예측을 시도하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.
 - 전라북도 익산시, 김제시, 정읍시 지역의 13개 농업용 저수지를 대상으로 한다.
 - 전주와 정읍 관측소의 일기상자료(최고기온, 최저기온, 평균풍속, 상대습도, 일조시간, 강수량)와 13개 농업용저수지의 일별 저수율 관측자료를 수집함. 1991년부터 1월부터 2022년 3월까지 자료를 수집하며, 모든 일자료를 월별로 계산하여 월단위 자료를 학습 데이터로 활용하였다.
 - 1개월~3개월 예측 시간 규모에 따라 18개의 학습모델을 구성하였다. 입력변수는 선행 저수율로서 월 마지막 날의 저수율 (Storage Rate on the Last Day of the Month), 월 누적 강수량 (Monthly Cumulative Precipitation), 월 누적 기준증발산량 (Monthly Cumulative Reference Evapotranspiration) 3개 항목을 조합하였다.
 - 파이썬 (Python) 언어를 사용하여 대표적인 기계학습 라이브러리인 Scikit-learn을 활용해 구현하였다. SVM 알고리즘은 SVR, RF 알고리즘은 RandomForestRegressor, ANN 알고리즘은 MLPRegressor 모듈을 활용하고, 하이퍼파라미터 튜닝은 RandomizedSearchCV 모듈을 활용해 200개의 파라미터 조합을 랜덤으로 생성하여 최적 파라미터를 탐색하여 학습하였다.
 - MSE, RMSE, R2, MAE 등의 통계지표를 활용하여 학습 및 시험성능을 평가했다.
 - 1개월은 모든 알고리즘에서 R2 0.8 이상으로 높은 설명력이 나타났고, 2개월과 3개월에서도 평균 R2 0.60~0.69, RMSE 11.2~13.3으로 유의미한 설명력을 보인다. RF 알고리즘은 일반화 오차가 높아 데이터가 제한적인 경우 적용에 한계가 있었으며, ANN 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 학습시간이 가장 많이 소요된다. 이에 학습성과 학습시간 측면에서 유용성이 가장 높은 SVM 알고리즘을 활용하여 저수율을 예측하는 것이 적절하다고 판단된다.

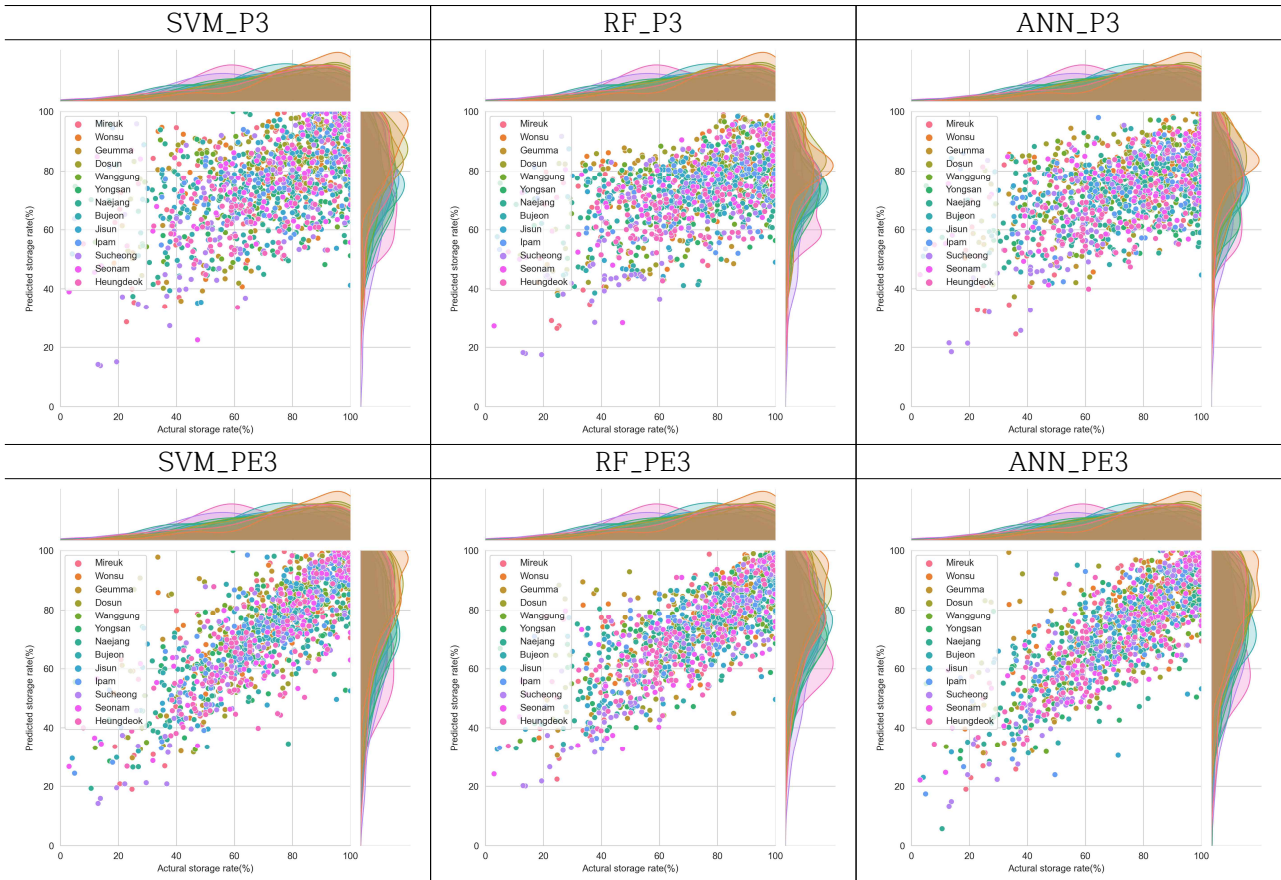
<머신러닝 알고리즘 기반 1개월 저수율 예측 결과>



<머신러닝 알고리즘 기반 2개월 저수율 예측 결과>



<머신러닝 알고리즘 기반 3개월 저수율 예측 결과>



- 월평균 저수율 예측을 확장하여 SVM (Support Vector Machine) 알고리즘을 이용하여 1991년부터 2017년까지의 자료를 학습자료로 활용한 학습모델을 생성하였다. 2018년부터 테스트자료로 활용하며, 중장기기후 예측정보 연계와 업데이트가 용이하도록 시스템을 설계·구성했다.

- 일저수율 예측으로 확장함에 따라 학습자료 (Feature)에 예측월(Month)을 추가하였다.
- RBF 커널을 사용하며, 하이퍼파라미터는 gamma(scale), C(10, 100, 200, 300, 400, 500), epsilon(0.001, 0.1, 1, 10)에 대해 설정함. GridSearchCV (5-Fold) 방법을 활용하여 하이퍼파라미터 최적화를 수행하였다.
- 기상관측자료, 기상예측자료, 저수율자료 등의 지속적인 업데이트를 위해 각 모듈로 구성하였다.

- 가뭄지수와 마찬가지로 파이썬 기반으로 저수율 예측모델을 구축하고, 지도 위에 72개 저수지 위치를 표시하고, 각 저수지별 1개월~6개월 후까지 저수율 예측 그래프와 관심, 주의, 경계, 심각 단계의 일수를 테이블 형태로 함께 서비스한다.

<파이썬 기반 저수율 예측 서비스 모델 구축(예시)>

```
import os, math
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from datetime import datetime, timedelta
from scipy import stats
from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
```

```

from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures, StandardScaler, MinMaxScaler
from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error, mean_absolute_error
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.svm import SVR
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from sklearn.linear_model import SGDRegressor
import pickle, joblib

resevoir_list = [4511010050, 4511010056, 4511010059, 4513010006, 4513010007, 4513010023,
4513010085, 4513010104, 4514010061, 4514010073, 4514010093, 4514010124, 4514010130,
4518010021, 4518010028, 4518010032, 4518010054, 4518010058, 4518010072, 4518010094,
4518010098, 4518010207, 4519010024, 4519010078, 4519010123, 4519010281, 4519010293,
4521010014, 4521010020, 4521010062, 4521010082, 4521010090, 4571010032, 4571010113,
4571010122, 4571010135, 4571010150, 4571010154, 4571010190, 4571010192, 4572010040,
4572010128, 4573010039, 4573010059, 4574010013, 4574010048, 4574010061, 4575010076,
4575010080, 4575010120, 4577010100, 4577010101, 4577010130, 4577010172, 4579010011,
4579010094, 4579010146, 4579010158, 4579010262, 4579010263, 4579010280, 4579010308,
4579010327, 4579010332, 4579010337, 4579010339, 4579010352, 4580010012, 4580010020,
4580010025, 4580010055, 4580010065]

# 입력파일
for resevoir_no in resevoir_list:
    input_file =
    './02_Model_INPUT/01_INPUT_Obs/02_timestep_M/00_AllDATA/input_obs_timestep_'+str(resevoir_no)+''.csv'
    input = pd.read_csv(input_file, header=0)

    # 피쳐 스케일링(선형회귀, 로지스틱 회귀, SVM은 데이터가 가우시안 분포를 가지고 있다고 가정하여 구현)
    scale = MinMaxScaler()
    scale.fit(input)
    scale_data = pd.DataFrame(scale.transform(input), columns=list(input.columns))

    # 훈련 및 학습데이터 설정
    strline = 9861 # 학습기간: 1991~2017년까지
    endlne = 11322 # 테스트기간: 2018년~2021년까지(일부 2022년 데이터 완결성 문제)
    x_train = scale_data.iloc[:strline, 2:].values
    y_train = input.iloc[:strline, 1:2].values
    x_test = scale_data.iloc[strline:endlne, 2:].values
    y_test = input.iloc[strline:endlne, 1:2].values
    y_test_type = input.iloc[strline:endlne, 0:1]
    y_test_type.reset_index(drop=True, inplace = True)

# 모델 선정, GridsearchCV를 통한 교차검증+하이퍼파라미터 튜닝, 성능평가(훈련, 교차검증), best model로 학습
model = SVR(kernel='rbf', gamma='scale')
parameters = {'C' : [10, 100, 200, 300, 400, 500], 'epsilon' : [0.01, 0.1, 1, 10]}
grid_cv = GridSearchCV(model, param_grid=parameters, cv=5,
scoring='neg_mean_absolute_error', refit=True, return_train_score=True, verbose=1,
n_jobs=-1)
grid_cv.fit(x_train, y_train.ravel())
best_model = grid_cv.best_estimator_
score =
pd.DataFrame(grid_cv.cv_results_)[['params', 'rank_test_score', 'mean_train_score', 'mean_test_score']]

.....( 중략 ).....

```



```

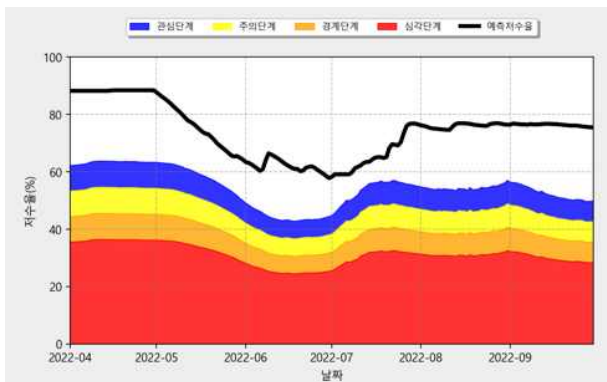
# ML best모델파일 저장
# joblib 방식
model_file_path = './03_Model/02_model_M/'
model_file = model_file_path + str(resevoir_no) + '.pkl'
joblib.dump([best_model, scale], model_file)

# 결과출력파일 저장
results_file_path = './04_Result/01_Obs/02_M/train_temp/'
results_file = results_file_path + str(resevoir_no) + '.xlsx'
results_total = pd.DataFrame(np.concatenate((y_test, y_pred), axis=1), columns=['y_true',
'y_pred'])
results_total = pd.concat([y_test_type, results_total], axis=1)

with pd.ExcelWriter(results_file) as writer:
    results_total.to_excel(writer, sheet_name='result_total', index=False)
    pred_score.to_excel(writer, sheet_name='pred_score', index=False)
    score.to_excel(writer, sheet_name='score', index=False)

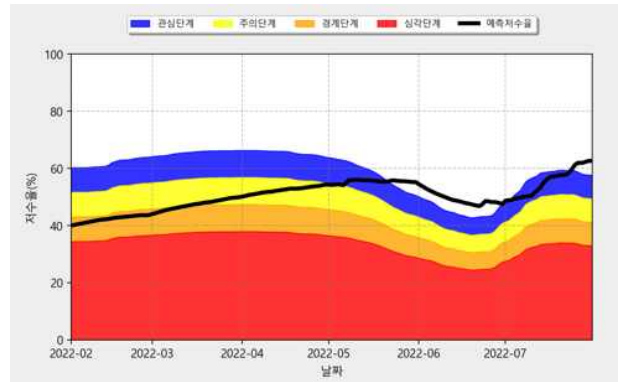
```

<파이썬 기반 저수율 예측 서비스 모델 구축(예시)>



연도-월	관심일수	주의일수	경계일수	심각일수
2022-03	0	0	0	0
2022-04	0	0	0	0
2022-05	0	0	0	0
2022-06	0	0	0	0
2022-07	0	0	0	0
2022-08	0	0	0	0

(기지저수지 3월~8월 예측(예시))



연도-월	관심일수	주의일수	경계일수	심각일수
2022-03	0	0	28	0
2022-04	0	19	12	0
2022-05	0	30	0	0
2022-06	18	3	0	0
2022-07	1	0	0	0
2022-08	21	0	0	0

(팔덕저수지 3월~8월 예측(예시))

○ 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 실증모델 적용 및 효과검증

- 공급-분배-수요 측면을 고려한 농업용수 사전관리 및 피해저감 요소기술을 검토하였다.

- 공급자 및 분배자 측면(한국농어촌공사, 지자체 등 농업생산기반시설관리자)에서 농업용수 사전관리를 통해 가뭄 피해 저감을 도모할 수 있는 요소기술 검토한다.
- 수요자 측면(농업인)에서 농업용수에 의한 가뭄피해를 저감하기 위한 요소기술인 농업용수로 제수문 조작을 통한 간단관개 실시, 개인 농업용 관정 정비, 절수형 물꼬 관리, 농작물별 물 절약 관개, 비상급수 추진 등 사용자 참여형 피해저감방안을 파악 및 요소기술 검토한다.

<가뭄대비 농업용수 구조적 사전관리 요소기술 및 리빙랩 적용가능 검토>

단계	수요자		관리자	
	요소기술	리빙랩 적용가능 여부	요소기술	리빙랩 적용가능 여부
관심 사후 복구단계 (가뭄대비, 계획단계)	<ul style="list-style-type: none"> • 수동으로 조작되는 물꼬 관리 부실로 인한 물손실을 최소화하기 위한 자동물꼬 설치 	○	<ul style="list-style-type: none"> • 토공수로의 구조물화, 용수로의 관수로화 • 조절지의 연계운영 • 수로 시설물의 현대화 관측관리시스템의 도입 • 공급량 산정시스템의 적용 • 개보수사업의 역점추진 	<ul style="list-style-type: none"> × × × ○ ×

<가뭄대비 농업용수 비구조적 사전관리 요소기술 및 리빙랩 적용가능 검토>

단계	수요자		관리자	
	요소기술	리빙랩 적용가능 여부	요소기술	리빙랩 적용가능 여부
관심단계 (가뭄대비, 계획단계)	<ul style="list-style-type: none"> • 한해대비 (용배수로 토사청소, 수초제거 등) • 직파재배 지양 • 양수장비 점검/수리시설물/수로 관리 참여 • 가뭄위험지역 가뭄저항성 높은 벼 품종 대체 • 간단·윤환관개 시행 • 가뭄에 대비한 영농대책 강구 	○ ○ ○ ○ ○ ×	<ul style="list-style-type: none"> • 일상근무체제 유지 • 가뭄대책종합상황실 근무조편성/업무분장 • 기상예보 및 장단기 기상전망 모니터링 • 강수량, 저수율 등 용수공급상황 파악 • 수원공별 용수공급능력 분석 및 점검 • 수리시설, 한해장비 점검·정비 계획수립 	○ ○ ○ ○ ○ ○
주의단계 (가뭄우려, 초기단계)	<ul style="list-style-type: none"> • 물꼬관리 • 논둑높이기 및 배수로·논 물가두기 • 보조수원을 이용한 집단못자리 설치 • 육모관리, 모내기 및 절수재배 실시 	○ ○ × ○	<ul style="list-style-type: none"> • 가뭄대책종합상황실 운영 • 물부족 우려지역 용수확보대책 수립 • 가뭄대비 재해대책비 지원계획 수립 • 관정, 양수장비 등 점검 및 정비 • 관정, 들샘 등 간이용수원 개발계획 수립 	○ ○ ○ ○ ○
경계단계 (본격조치)	<ul style="list-style-type: none"> • 집단못자리 참여 • 배수로·논 물가두기 • 절수영농 (육모상자, 모내기 및 급수조절, 간단·윤번관개, 용수 재이용) • 못자리관리, 모내기/대파, 절수 재배 • 지역간 모내기 시기 조정 	○ ○ ○ ○ ○	<ul style="list-style-type: none"> • 비상근무 체제로 전환 (상황실 확대 개편) • 관정, 양수장비 및 인력 동원 • 부족장비 지역간 상호 전배 조치 • 관정, 들샘 등 간이용수원 개발 • 저수지 물채우기 (양수저류) 작업 추진 • 절수영농방법 홍보 	○ ○ ○ ○ ○ ○
심각단계 (전사대응), 사후복구 단계 (가뭄대비, 계획단계)	<ul style="list-style-type: none"> • 집단못자리 참여 • 배수로·논 물가두기 • 절수영농 (육모상자, 모내기 및 급수조절, 간단·윤번관개, 용수 재이용) • 못자리관리, 모내기/대파, 절수 재배 • 지역간 모내기 시기 조정 	○ ○ ○ ○ ○	<ul style="list-style-type: none"> • 전사적가뭄대응 /관련부처와 협조 체제강화 • 긴급 용수원 확보 및 급수대책 총력 추진 • 민관군 협조체제 구축 및 장비인력 총동원 • 가뭄극복 3 대운동 (저수·절수·용수개발) 전개 • 집단못자리설치 /지역간 모내기시기조정 • 모내기 못한 논에 대파 실시 • 집단못자리 참여 • 배수로·논 물가두기 • 절수영농 (육모상자, 모내기 및 급수조절, 간단·윤번관개, 용수재이용) • 못자리관리, 모내기/대파, 절수재배 • 지역간 모내기 시기 조정 	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

- 사용자 참여를 통한 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 시나리오 구성

① 수요자 참여 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 시나리오

- 시나리오 1 : 논둑높이기를 통한 유효수량 증가

② 공급자 참여 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 시나리오

- 시나리오 2 : 한해대비 용배수로 토사청소 및 수초제거를 통한 수로손실을 감소

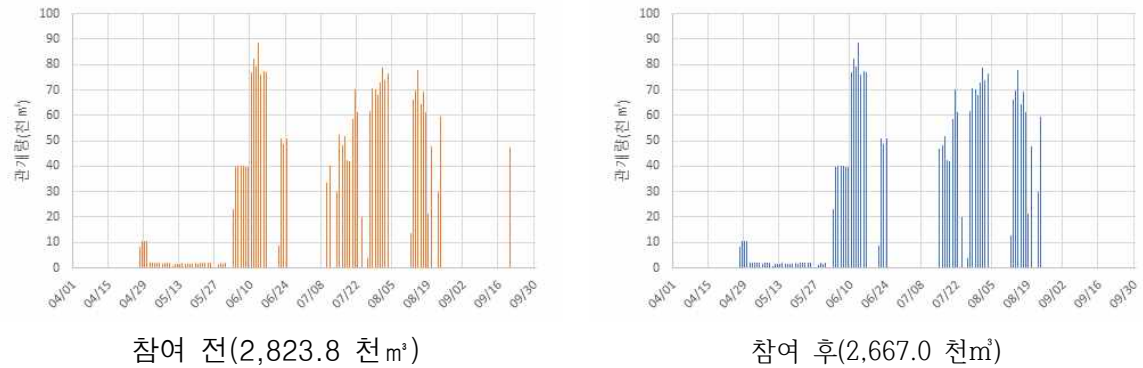
③ 사용자 + 공급자 참여 가뭄대비 농업용수 사전관리 및 피해저감 시나리오

- 시나리오 3 : 간단관개 시행을 통한 농업용수 사전관리

- 시나리오별 농업용수 관리에 따른 가뭄 피해저감 모의

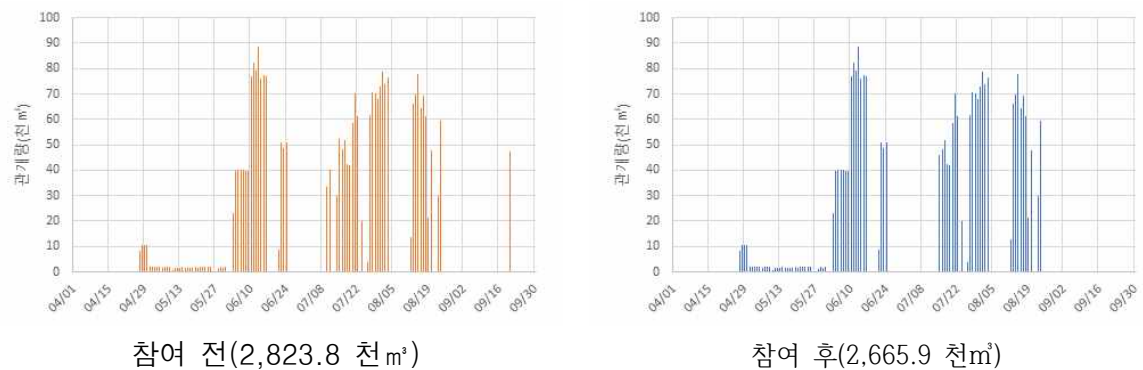
① 시나리오 1에 따른 농업용수 수요량 저감 모의

- 논둑 80mm → 100mm 증고에 따른 관개량 모의 결과(5.55% 저감)



<사용자 참여에 따른 관개량 저감 모의>

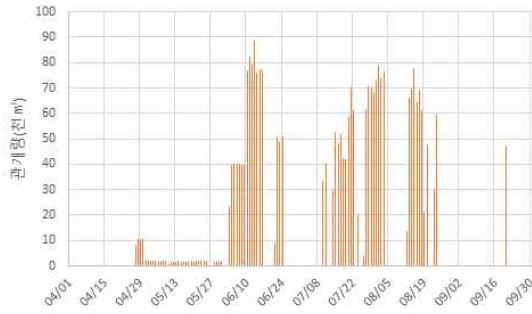
- 논둑 80mm → 120mm 증고에 따른 관개량 모의 결과(5.59% 저감)



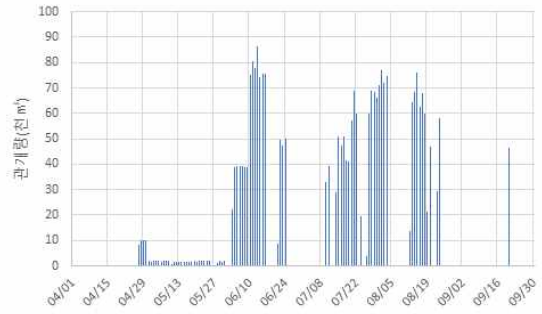
<사용자 참여에 따른 관개량 저감 모의>

② 시나리오 2에 따른 농업용수 수요량 저감 모의

- 수로손실을 10% → 8%에 따른 관개량 모의 결과(2.17% 저감)



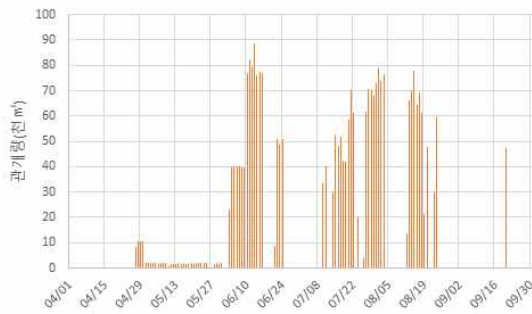
참여 전(2,823.8 천m³)



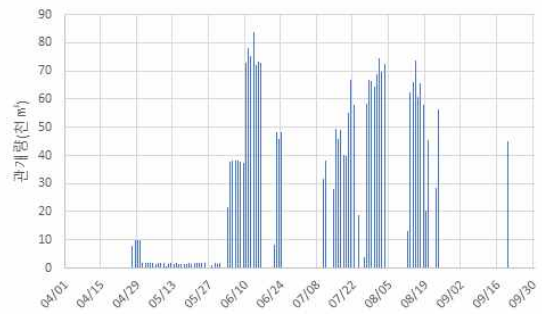
참여 후(2,762.4 천m³)

<사용자 참여에 따른 관개량 저감 모의>

- 수로손실을 10% → 5%에 따른 관개량 모의 결과(5.26% 저감)



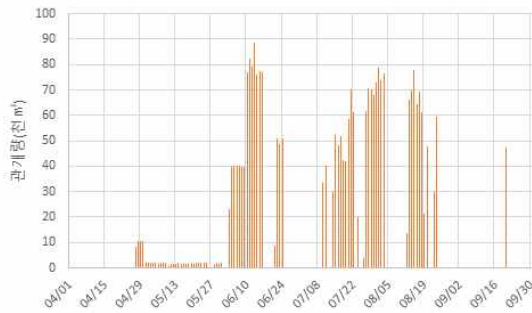
참여 전(2,823.8 천m³)



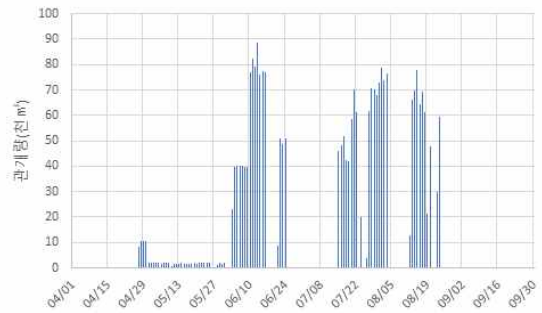
참여 후(2,675.2 천m³)

<사용자 참여에 따른 관개량 저감 모의>

③ 시나리오 3에 따른 농업용수 수요량 저감 모의(5.55% 저감)



참여 전(2,823.8 천m³)



참여 후(2,667.0 천m³)

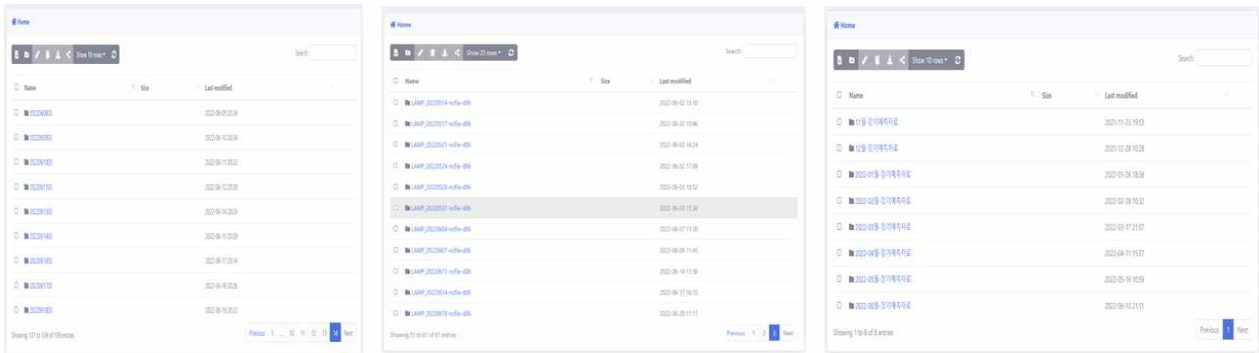
<사용자 참여에 따른 관개량 저감 모의>

마. 농촌 현장 문제 리빙랩 사이트 구축 및 운영

○ 농촌 현장 문제 리빙랩 사이트 환경 구성을 위한 기관 데이터 체계 구축

1) 기관 3사 기상데이터 단기/중기/장기 업데이트 자동화를 위한 SFTP구축

- SFTP 사이트 구축/오픈 <https://sftp.selab.cloud/web/client/login>
- 안정적인 과제 운영 및 지속적인 과제를 위한 기상 데이터를 단기/중기/장기에 맞게 업데이트할 수 있도록 각 기관이 온라인 상에 공유하여 활용하기 위한 목적으로 온라인 SFTP 사이트 구축하였다.
- 기능
 - 단기/중기/장기 각각 기관별 아이디 생성하며, 단/중/장기 기상 데이터의 경우 기간에 따른 업데이트 시간이 달라 단/중/장기 각 기관 별 업데이트 시간에 구매받지 않도록 사이트 구축하였다.
 - 대용량 파일도 적재 하고, SFTP 업로드된 파일 목록이 저장되어있기 때문에 과거 기존 파일도 시간/장소 구매 없이 사이트 내 접속하여 다운로드 가능하다



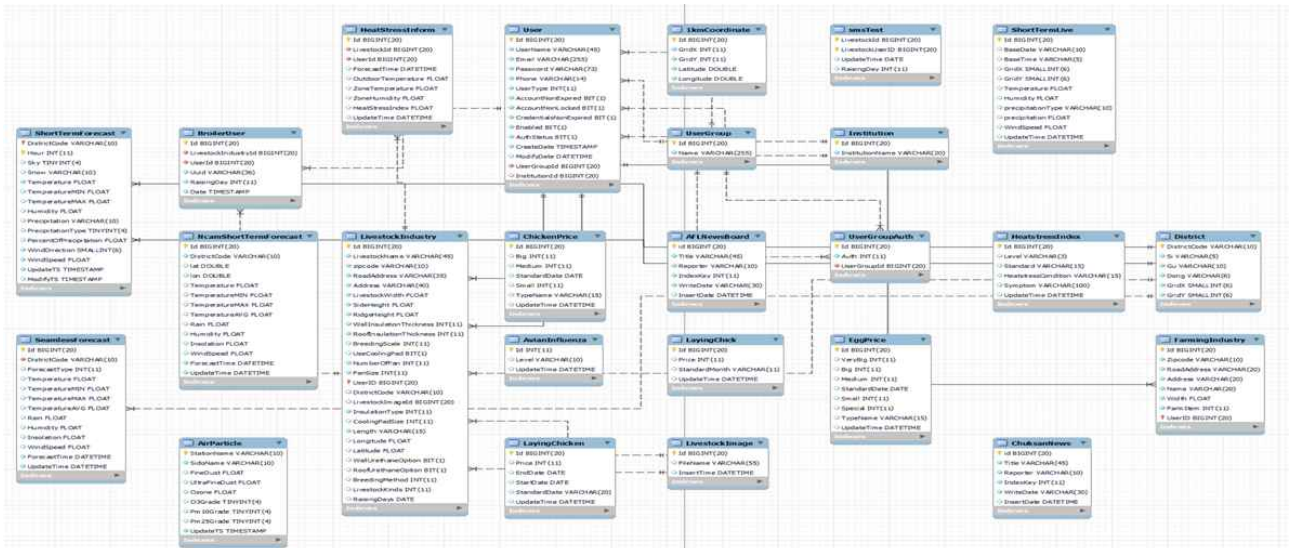
<SFTP구성 나노웨더-단기(좌) / 국가농림기상센터-중기(중) / 유역통합관리연구원- 장기(우)>

○ 농촌 현장 문제 리빙랩 사이트 고온 스트레스/ 가뭄 분리 구축 및 운영

1) 수요자 맞춤형 고온 스트레스 영향예보 사이트 구축 및 운영

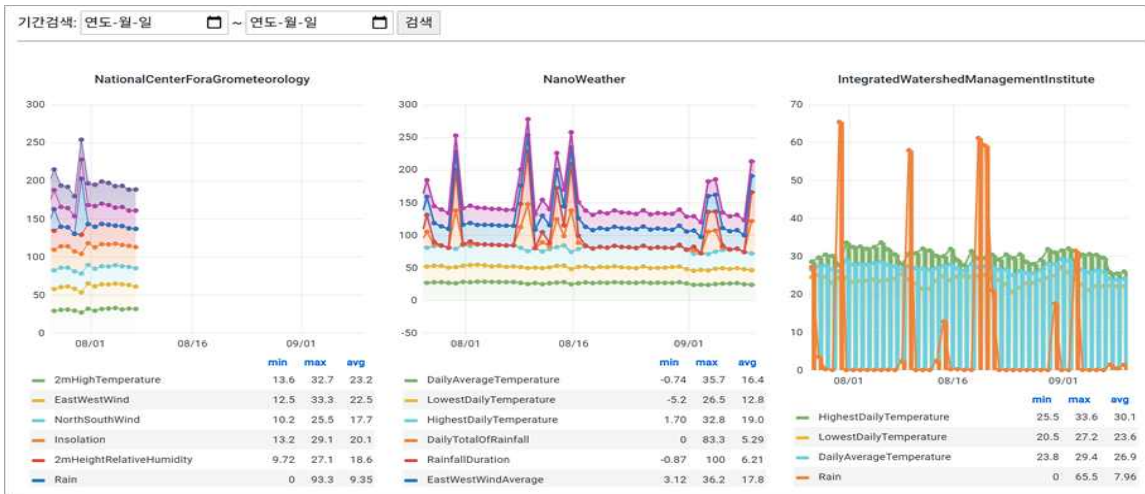
- 고온 스트레스 사이트 운영(<https://poultryheatstress.co.kr/>)
- DB 구성
 - 각 기관으로부터 정기적으로 예보자료를 수집하여 시스템에서 필요로 하는 정보로 전처리 후 데이터베이스에 저장 진행하였다.
 - 수집 주기 : 각 기관별 데이터 변경시 즉시 처리
 - 고온스트레스 영향예보 사이트를 안정적이게 운영하기 위한 DB 구성
 - 양계업자 회원분들 가입 정보 저장
 - 기상 데이터 단/중/장기 저장 자동화
 - 기상청 단기에보 API 저장 자동화
 - 축산물품질평가원 가금산물 일일 거래 API 저장 자동화
 - 에어코리아 대기오염 정보 저장 자동화
 - 축산신문 가금류 분야 / 농수축산신문 가금류 분야 기사 저장 자동화
 - 농식품 공공데이터 포털 가축 질병 위기단계 데이터 저장 자동화

- 조류인플루엔자 위험 3단계 저장 자동화
- 양계업자를 위한 정보 (가금류 거래 가격정보 / 가금류 뉴스 기사)저장
- 수요자 맞춤 고객별 계사 정보 저장
- 고객 별 고온 스트레스 지수 저장 자동화
- SeamlessForecast 데이터 저장 자동화



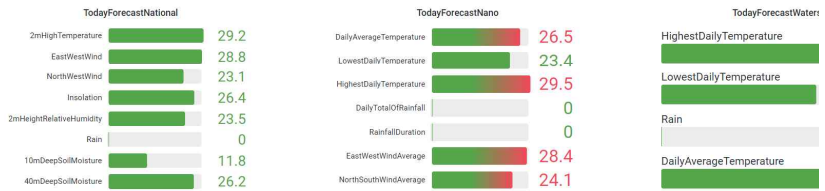
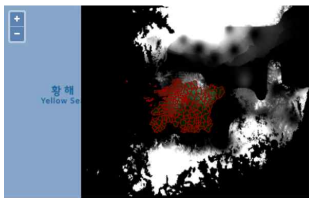
<PHS 홈페이지 데이터베이스 ERD>

- 기관 단/중/장기 기상데이터 활용 임시 사이트 생성
 - 부트스트랩 이용 기본 디자인으로 사이트 생성
 - 고온스트레스 페이지 내 그래프나 이용 전라북도 분포도 삽입
 - 고온스트레스 차트 그래프나 생성
 - SeamlessForecast 차트 삽입



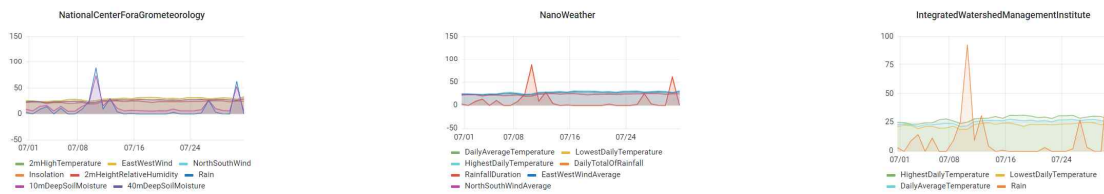
기관 별 단기 예보

날짜검색: 2021-07-20 ~ 검색

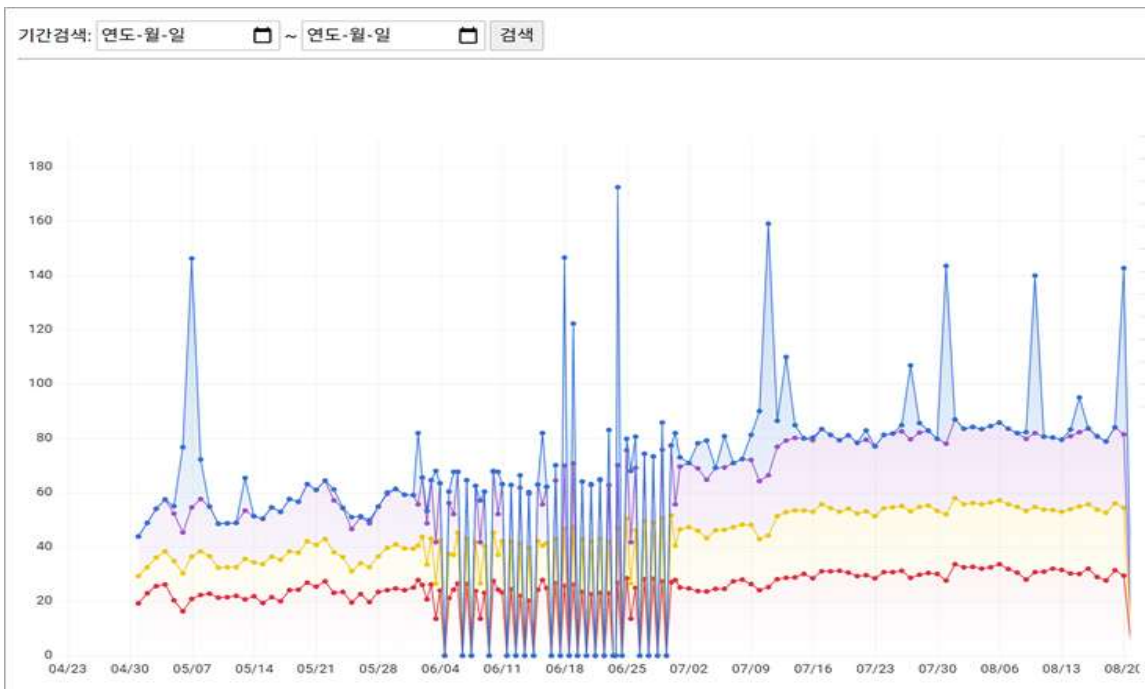


기관 별 장기 예보

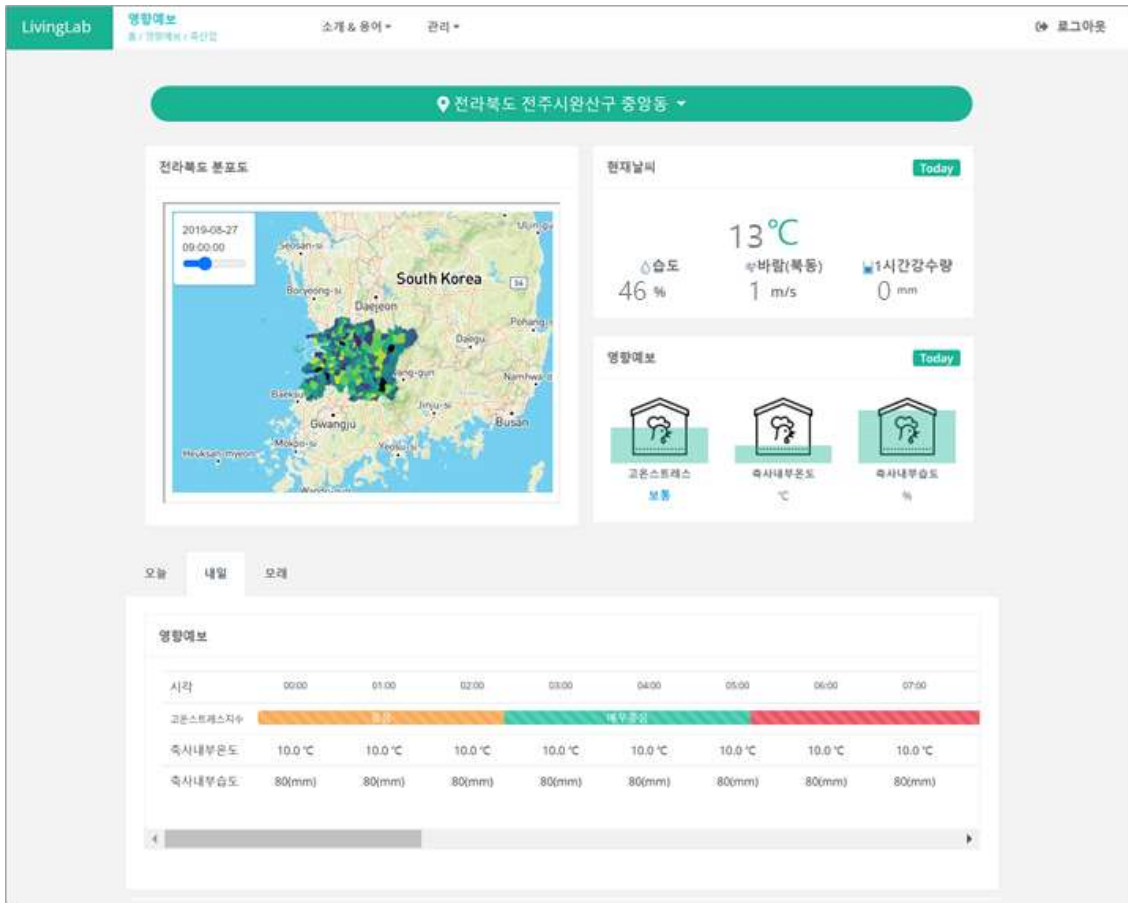
날짜검색: 2021-07-01 ~ 2021-07-31 검색



<그라파나 기관 기상데이터 차트>



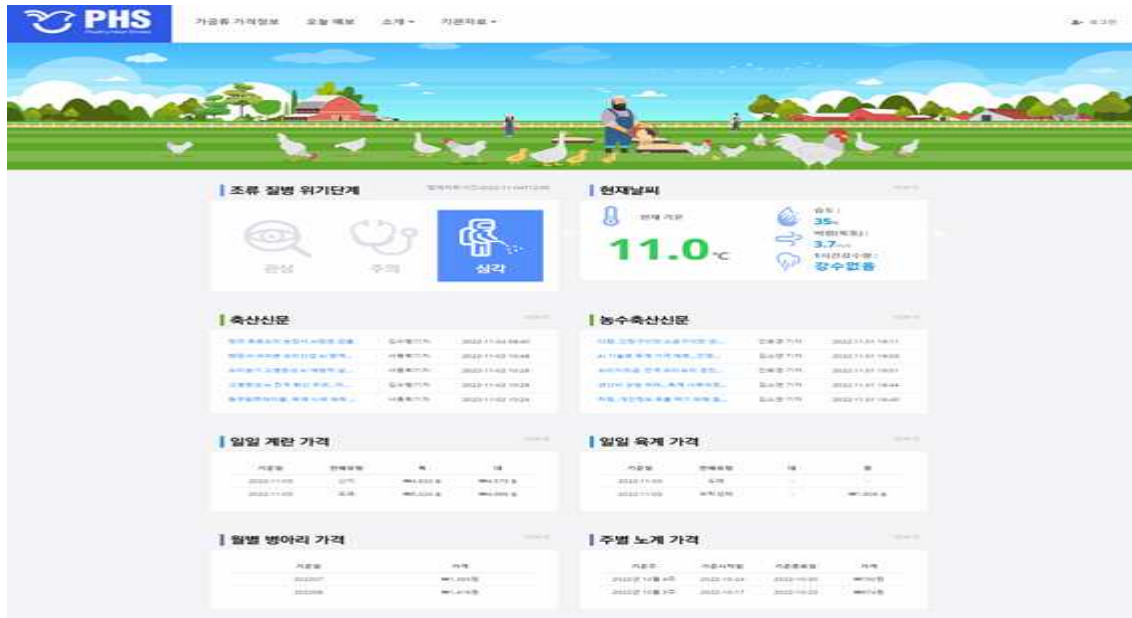
<그라파나 SeamlessForecast 차트>



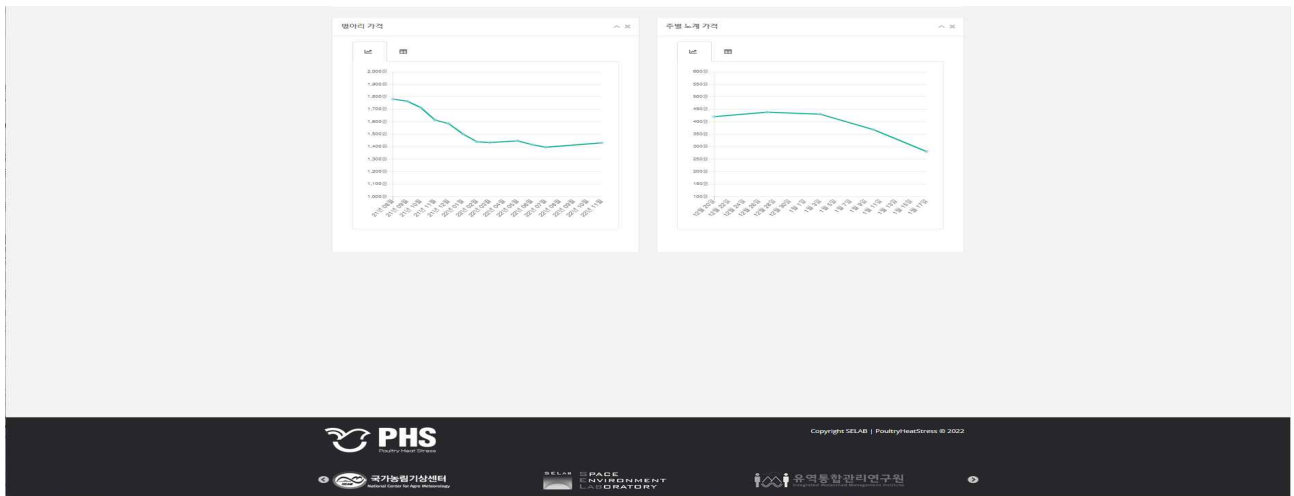
<부트스트랩 이용 임시사이트 구축 화면>

- 사이트 UI 디자인 삽입 및 포털화

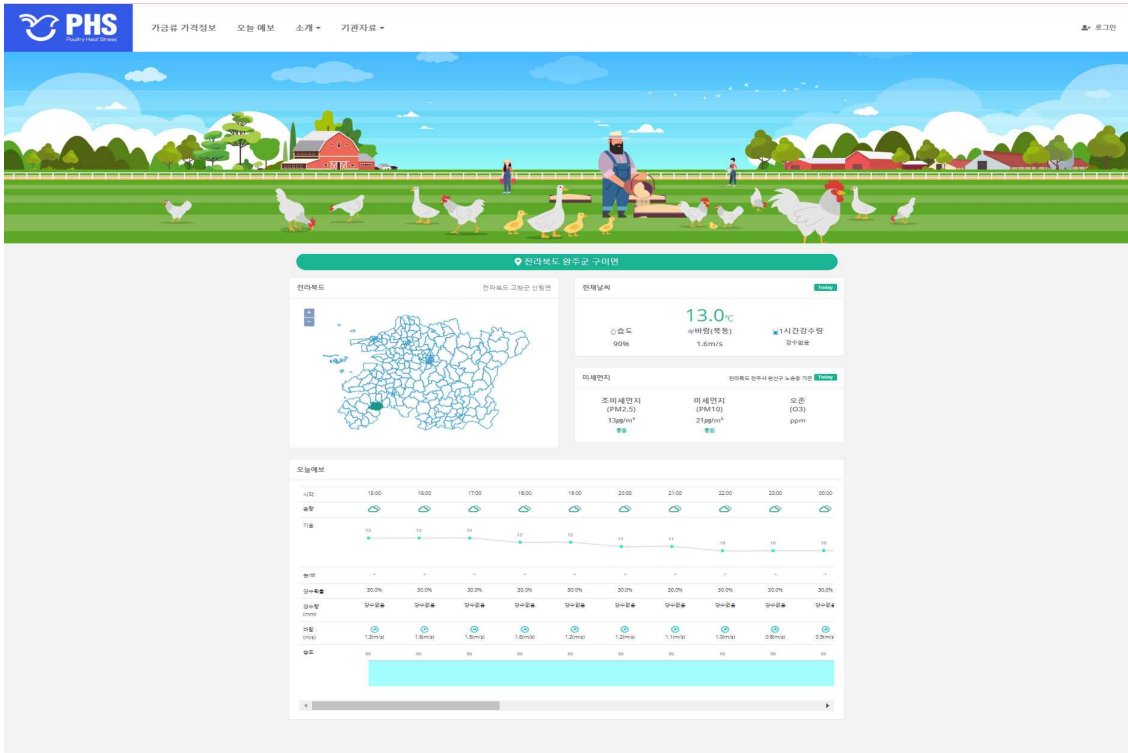
- 디자인을 삽입하여 접근성을 높였다.
- 양계업자를 위한 정보 (가금류 거래 가격/ 가금류 신문 기사 / 조류인플루엔자등급)를 시각화하여 표출하였다.
- 양계업자에게 필요한 정보들을 표출하여 양계업자를 위한 네이버 같은 포털 페이지가 양계협회 사이트만 있음을 확인하여 유입량 증가를 위해 메인 페이지 포털화 진행하였다.
- 전북지역 특화 사이트로 전북지역 부분 날씨 데이터 제공한다.



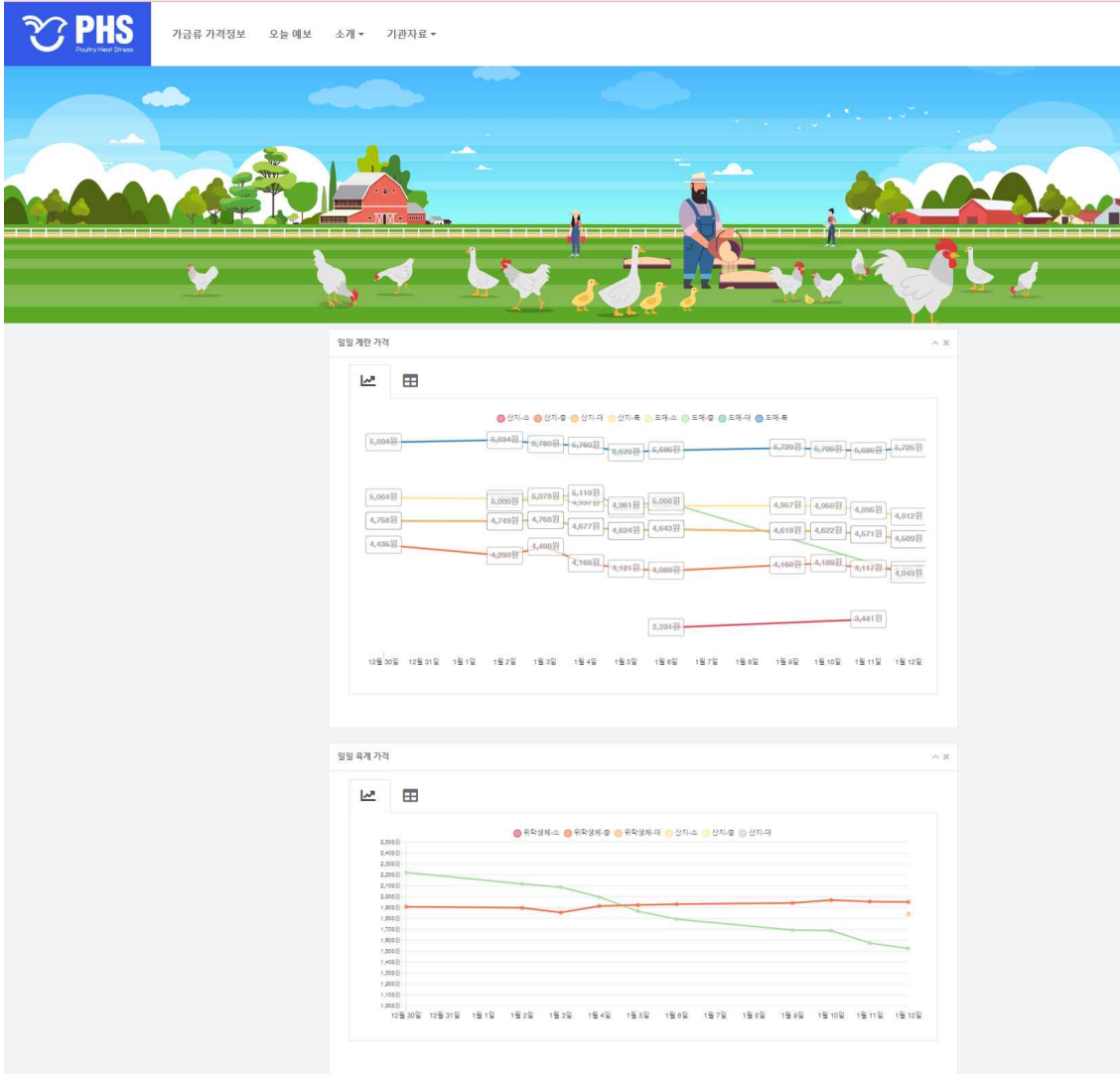
<PHS 사이트 포털화 메인 페이지>



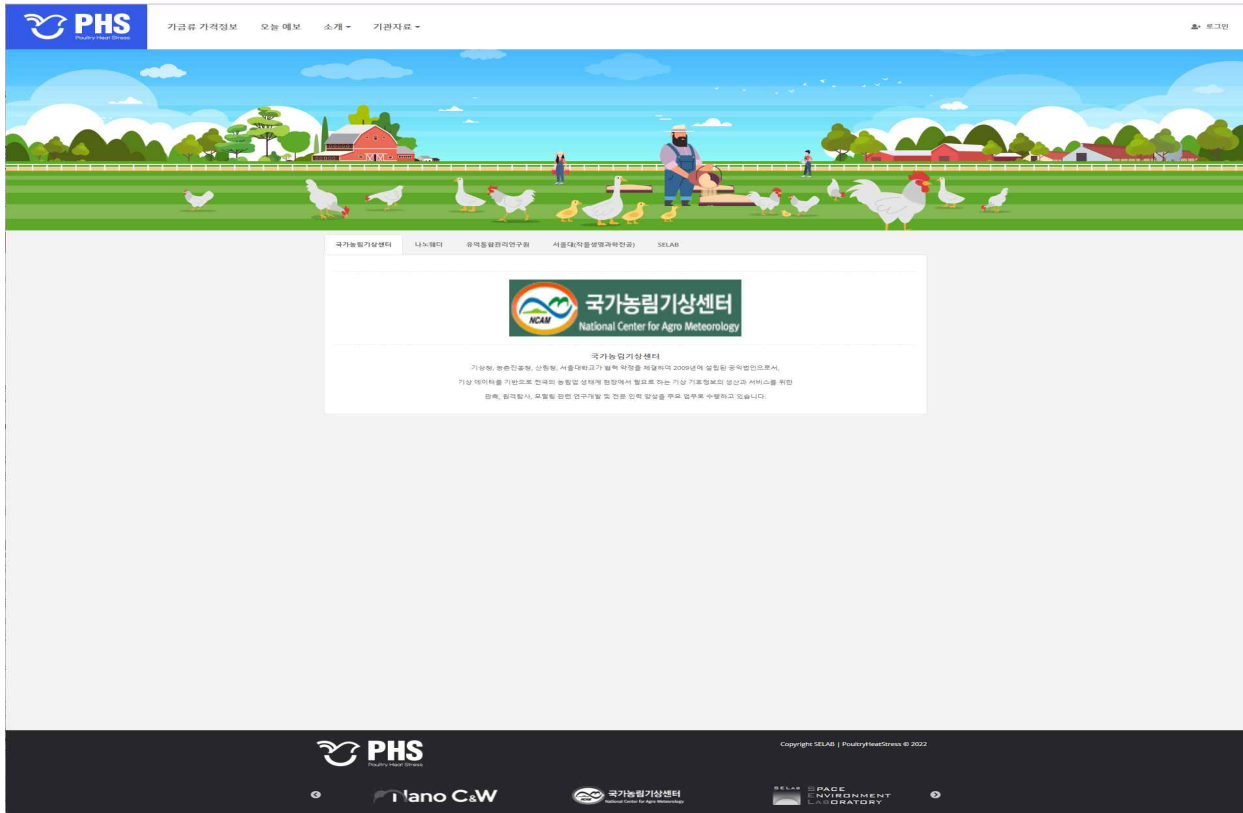
<가금류 가격 정보 페이지>



<전북지역 오늘 예보 날씨 제공>



<가금류 가격 정보 페이지>



<기관소개 페이지>

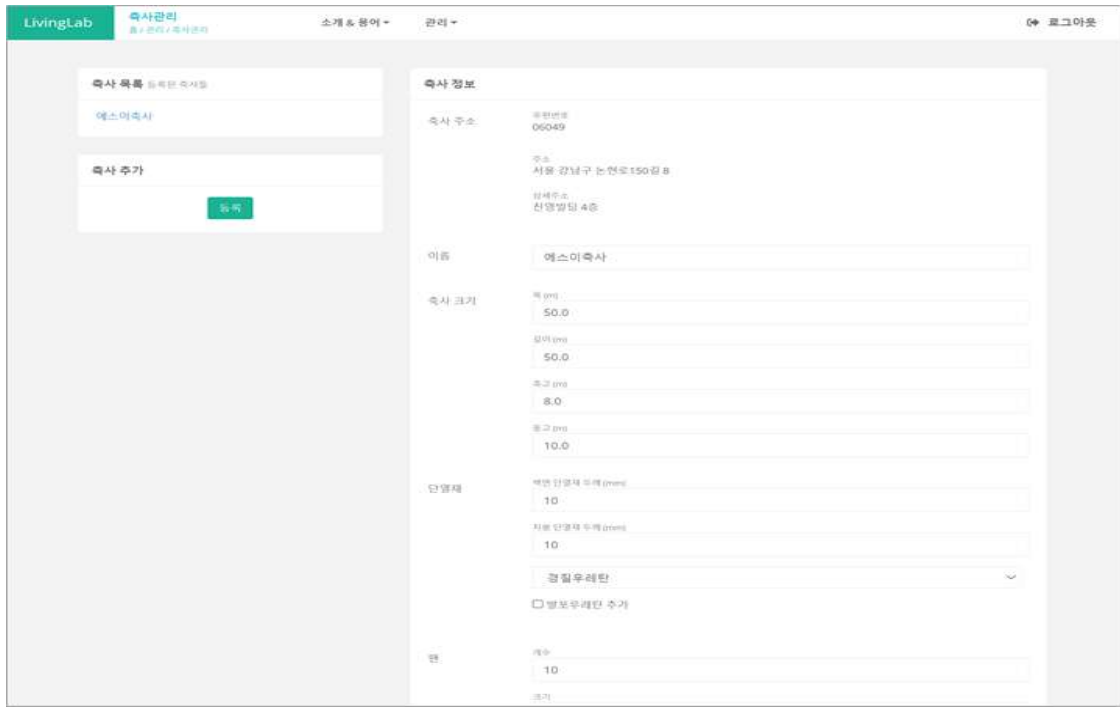


<장기예보보고서 페이지 >

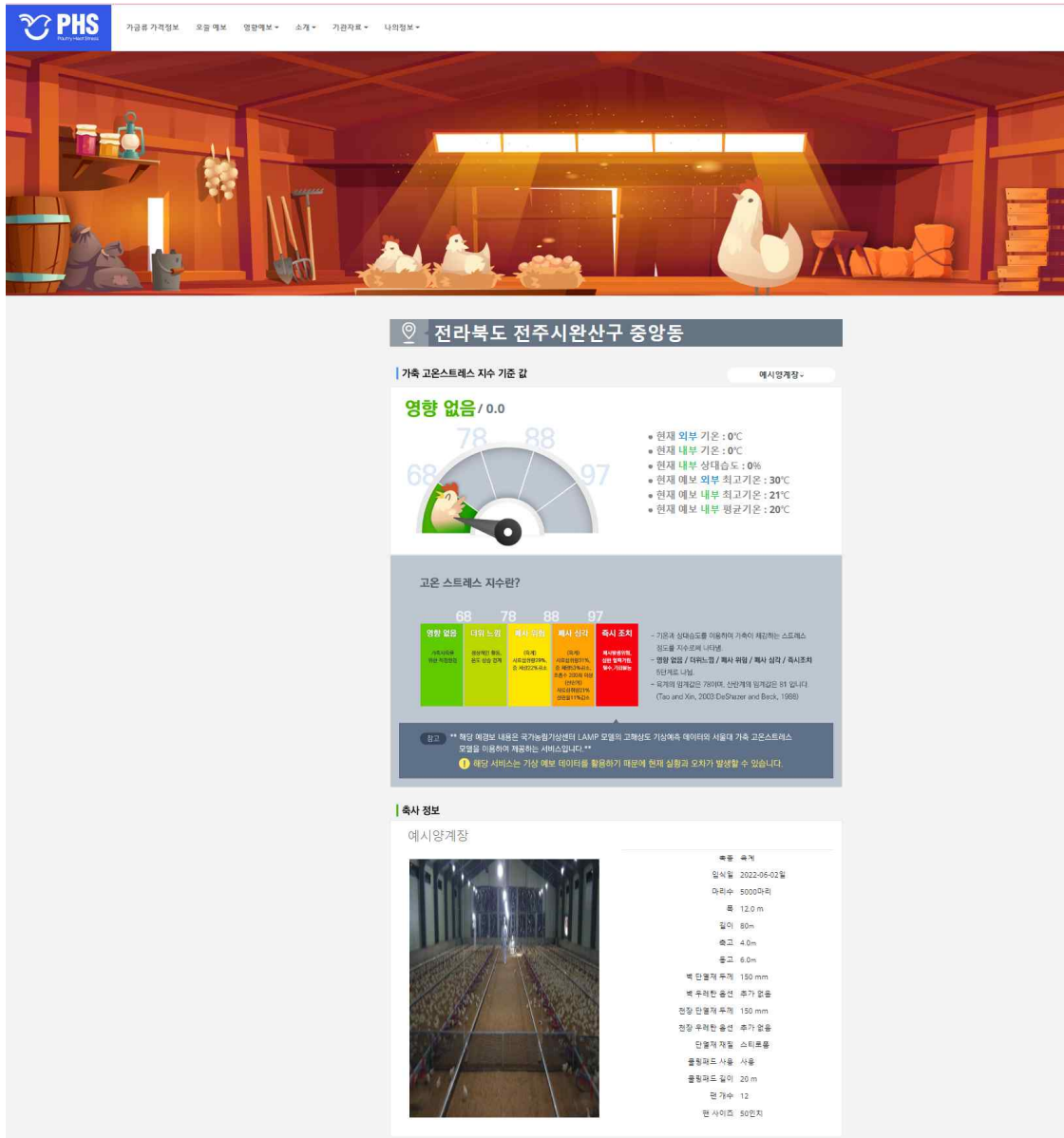
- 수요자 맞춤 영향예보 생성

- 양계업자 개인 별 자세한 계사 정보를 입력 받아 개인별 맞춤 영향예보 제공가능하다.
- (축사주소/이름/일령/마리/쿨링패드사용유무/팬개수/팬사이즈/축사폭/길이/축고/동고/벽면지붕단열재두께/단열재종류/축종)
- 양계업자 개인 별 계사 추가 및 수정 가능하다.
- 개인 축사주소와 국가농림기상센터 위경도 매핑하여 국가농림기상센터 중기예보 기상데이터 활용한다.
- 고온스트레스 예보 웹 페이지 표출하며, 고온스트레스 예보 오전 9시 문자서비스 제공한다(고온 스트레스 5단계 - 단계 별 시간 제공).
- 고온스트레스 예보 시스템 자동화 구축이 되었다.

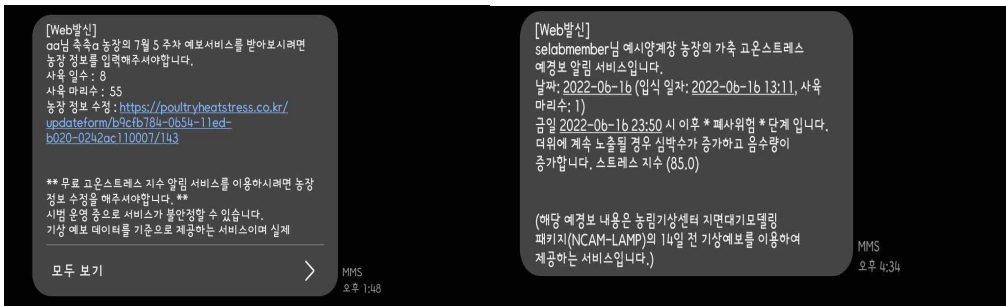
<양계업자 회원가입 시 세세한 계사 정보 입력>



<양계업자 기사 추가/수정 화면>



<로그인시 개인별 영향예보 웹 서비스>



<영향예보 문자 신청서비스>

<수요자 맞춤 예보 문자 서비스>

- 개인정보보호법에 의해 가입 동의를 위한 NICE API 계약 체결

- Nice와 1년 계약 개인정보사용보호법에 의거하여 회원가입을 위한 본인인증 서비스 계약 체결하여 Nice본인인증 API를 연결하여 회원가입을 할 수 있도록 구현하였다.
- 본인인증이 완료된 회원 정보로 가입 가능하다.

- 양계업자 유입량을 증가시키기 위해 축산신문사와 협약 체결 및 배너광고

- 축산신문사와 협약 체결하여 축산신문사 상단 배너 광고로 유입량 증가하였다.



<상단 배너광고>

- 사이트 구축 후 불편사항 신고를 직접적으로 응대하여 실 서비스 적용

- 고객의 불편사항을 직접적으로 신고 받아 응대하여 서비스 적용하였다.

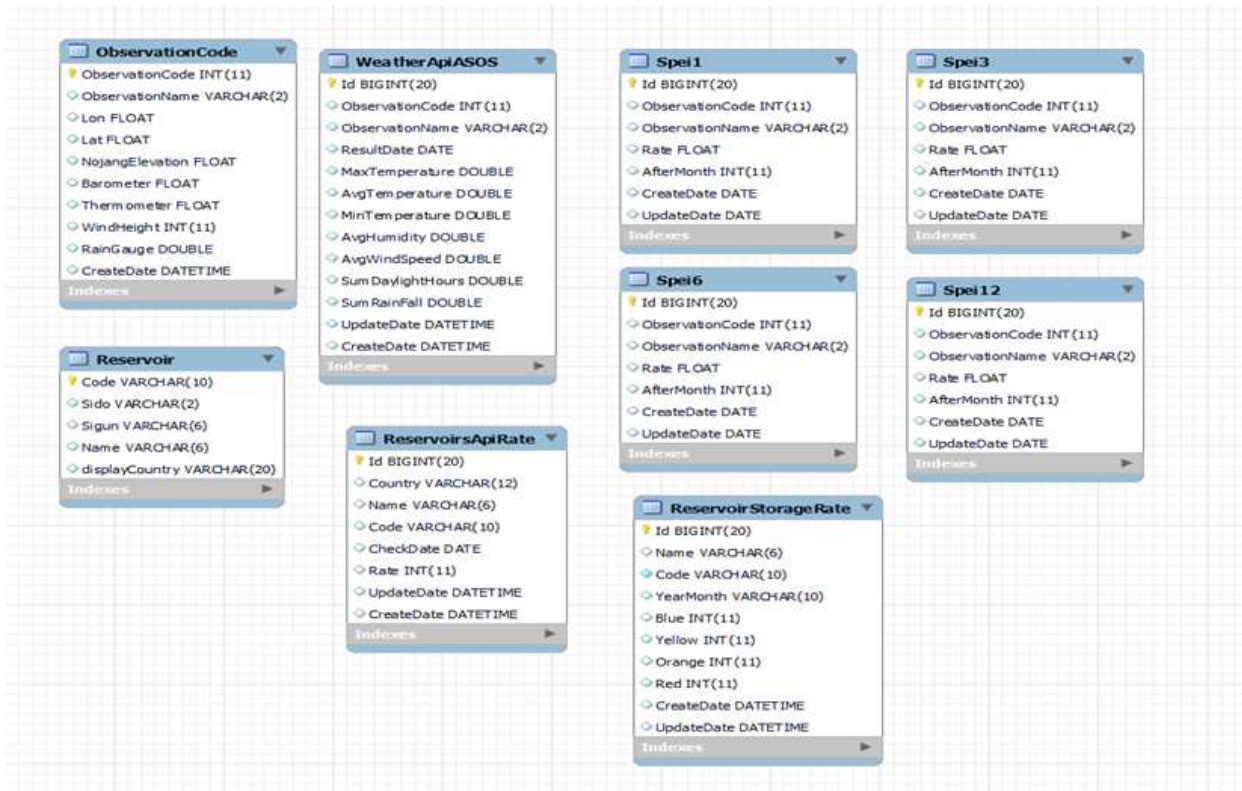
- 정확한 정보 제공을 위해 문자 서비스 신청을 제공하였으나 방법을 모르겠다는 분들께 유선으로 안내하여 참여율을 높였다.
- 영향예보 서비스에 대해 양계업자 생활 상 불편하단 의견으로 매주 금요일에 신청 폼을 발송 익일 주 월요일부터 1주일간 신청 없이 수요자의 기사 정보로 영향예보를 단계별로 안내하도록 서비스 수정하였다.

고객불만처리보고서		보	고	불	문	보	고객불만처리보고서		보	고	불	문	보
발생일자	2022-07-08 금요일						발생일자	2022-07-08 금요일					
아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.		아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.						아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.					
고객정보	유정우 010.8495.9090 산란계	고객정보		소소원 010.2439.1174 육계									
고객불만처리보고서		보	고	불	문	보	고객불만처리보고서		보	고	불	문	보
발생일자	2022-07-08 금요일						발생일자	2022-07-11 월요일					
아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.		아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.						아래와 같이 고객불만사항 응대과정을 보고 합니다.					
고객정보	최민영 010.3682.2302 육계	고객정보		소소원 010.2439.1174 육계									

고객 불만 처리 보고서 처리내용

2) 농업용수를 이용한 가뭄 분석 시스템 사이트 구축 및 운영

- 가뭄 분석 시스템 사이트 ADAM 구축(<https://adam.re.kr/>)
- DB 구성
 - 각 기관으로부터 정기적으로 예보자료를 수집하여 시스템에서 필요로 하는 정보로 전처리 후 데이터베이스에 저장 진행하였다.
 - 수집 주기 : 각 기관별 데이터 변경 시
 - 농업용수 가뭄 사이트를 안정적이게 운영하기 위한 DB 구성하였다.
 - 농어촌공사 농촌용수 저수지 수위정보 조회 전북지역 72개 저수지 저장, 기상청 지상 종관데이터 일 저장, 기상 데이터 유역통합관리연구원 장기 기상데이터 저장, SPEI 가뭄 연산 데이터 저장을 자동화 하였다.

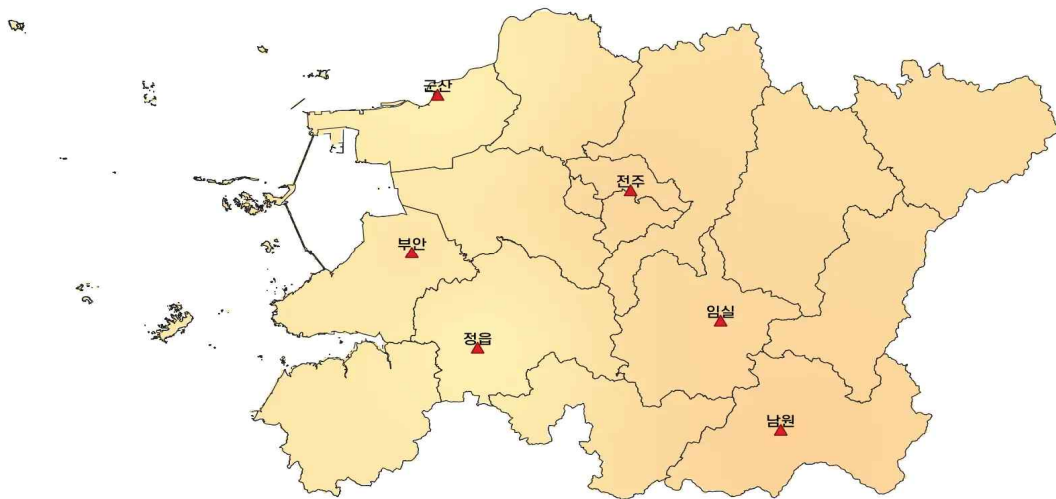


<ADAM DB 구성도>

- QGIS 분포도 생성

농업용수 가뭄 지수를 위한 GeoJson / shp 파일과 연산된 SPEI지수를 활용하여 실 사용자에게 분포도로 시각화 사용성 높였다.

- JAVA프로그램 생성 전라북도 shp파일 SPEI1/3/6/12 예보 지수 삽입하였다.



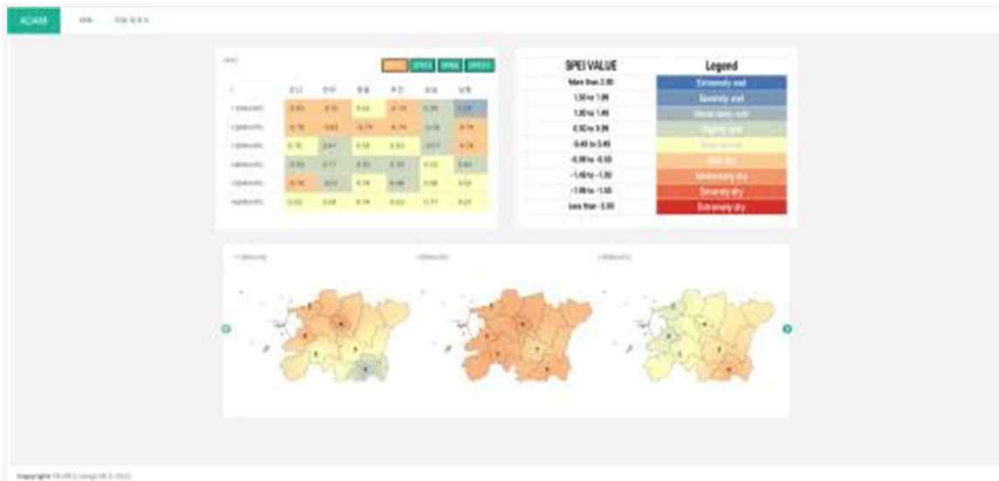
<Qgis 생성 분포도>

- 기상데이터 분포도 활용 임시 사이트 생성

- 부트스트랩 활용 기본 UI생성하였다.
- 컬러차트와 SPEI 지수별 컬러테이블로 나타내어 위험도의 시각화하여 사용성을 높였다.

- 디자인 삽입하여 실 사이트 구축 및 운영 진행

- 디자인을 삽입하여 접근성을 높이고 시각화 자료로 실제 농민들도 직관적으로 볼 수 있도록 쉽게 표출하여 사용성을 높였다.
- 테이블 자료 컬러차트 이미지 디자인 삽입 시각화 사용성을 높였다.
- SPEI 컬러 테이블을 분포도로 시각화하여 표출 1/3/6/12 예보 각각 확인할 수 있도록 시각화하여 표출하였다.



- 지도를 삽입하여 전라북도 72개 저수지 지역 표출 시각화하였다.
- 지도를 이용해 각 저수지 포인트 클릭시 차트와 테이블로 직관적 표출로 사용성 높이고 매달 데이터 업데이트 저장하였다.

가뭄지수 예측 | 저수율 예측

가뭄지수 예측

가뭄지수는 가뭄의 심도(severity)를 정량화하여 직관적인 판단에 도움을 줍니다. 다양한 가뭄지수 중 강수량과 증발산량을 함께 고려하여 조금 더 물리적으로 가뭄을 평가할 수 있는 표준강수증발산지수 (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)가 많은 주목을 받고 있습니다. 농업가뭄 분석을 위해 Panamun-Monthly 방법의 의해 산정된 기준증발산량의 경우를 고려합니다. 전북지역의 72개 저수지목록소에 대한 기상예측자료를 활용하여, 1개월, 3개월, 6개월, 12개월에 대한 표준강수증발산지수(SPEI)를 제공합니다.

SPEI_PM

SPEI_PM1	SPEI_PM3	SPEI_PM6	SPEI_PM12			
/	전주	군산	정읍	부안	임실	남원
+1(Month)	0.22	-0.27	0.23	0.00	-0.25	-0.36
+2(Month)	1.24	0.26	0.84	1.29	0.83	0.57
+3(Month)	0.67	0.52	0.67	0.89	-0.27	-0.14
+4(Month)	-0.79	-0.65	-0.71	-0.69	-0.75	-0.72
+5(Month)	1.01	1.32	1.41	1.55	1.59	1.45
+6(Month)	-3.59	-1.82	-5.13	-2.63	-1.87	-1.91

SPEI_PM1

+2(Month)

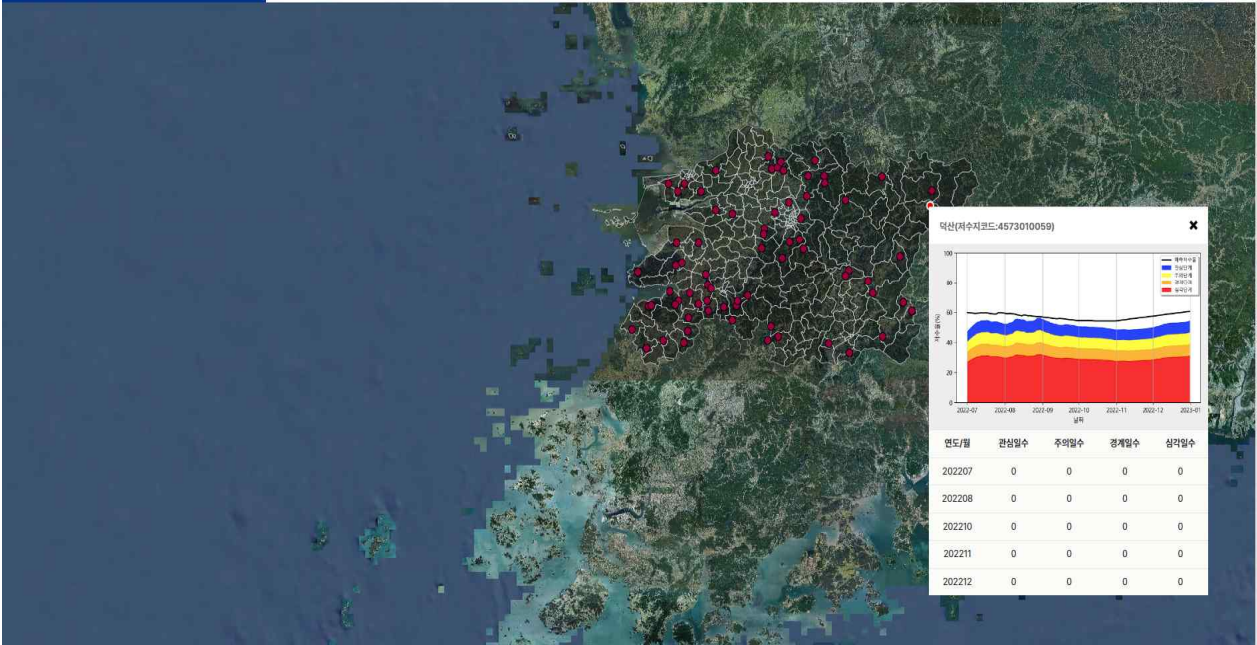
SPEI_PM3

+3(Month)

SPEI_PM6

+4(Month)

<농업용수가뭄분석시스템 ADAM>



<농업용수가뭍분석시스템 72개 저수지 지도 표출 페이지>

3) 양파농가 앱 서비스 소개 및 홍보 지원

- 서울대 팀 측에서 완성한 양파농가 앱 서비스 소개페이지 디자인 지원 및 연구원리빙랩 페이지 소개글 생성하여 앱 홍보 지원하였다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

< 1차년도 >

- 기상 예측 자료를 분산처리하여 작물 생육을 예측할 수 있는 시스템을 구현함
- 연구목표인 장기 고해상도 예측자료를 전북지역에 대하여 생산하는 기술을 개발하였으며, 이를 통하여 기상관측소 기반의 계절예보자료를 생산하는 체계를 구축하였음
- 농업가뭄 대응을 위하여 전북지역을 대상으로 기상학적 가뭄지수(SPEI) 모듈을 개발하였으며, 현장문제 해결을 위하여 전라북도 왕궁저수지를 대상으로 물관리기관(한국농어촌공사), 농민단체 및 농민들과 협력체계를 구축하고 해당지역의 가뭄분석을 위한 기본자료를 구축하였음
- 서비스를 위한 데이터 관리 체계 및 수집, 표출 설계 / 구축

< 2차년도 >

- 스마트폰을 사용하여 생육 예측 및 의사결정 지원하기 위한 모바일 앱이 구축됨
- 고해상도 격자기반(1km)자료의 생산기술을 개발하고 이의 예측성 평가 및 영향예보 연계 모듈 개발을 완료하였으며, 이를 응용분야(가뭄예측)에 제공하여 활용하도록 하였음
- 공동연구기관인 국가농림기상센터, 나노웨더 및 에스이랩과 협력하여 이음새없는 기상예측서비스(WEDAS)을 개발 중에 있으며, 이를 통하여 단기, 중기 및 장기 기상예측자료를 농민들이 활용할 수 있는 정보서비스체계를 제공하기위해 개발 중에 있음
- 전라북도의 농업용저수지를 대상으로하는 수문학적 가뭄지수(RDI)의 계산 모듈을 개발하여 적용하였으며, 현장문제 해결 대상 지역인 왕궁저수지 지역에 대한 가뭄분석을 수행하였으며, 이를 통하여 2단계 1차년도에는 현장의 의견을 반영하여 관계기관 및 농민들이 참여하는 현장중심의 가뭄대책 수립하기 위한 가이드라인을 개발하고자 함
- 1차년에 구축된 리빙랩 프로젝트 페이지 활성화

< 3차년도 >

- 가축 사육 시설 내부 미기상 환경을 선제적으로 예측하고 가축의 고온 스트레스를 정확하여 평가하여 내부 사육환경을 적절하게 유지할 수 있는 기술을 개발함
- 가뭄 대비 재배관리 지원 정보를 제공할 수 있는 양파와 마늘 생육 모형 기반 모바일 앱 시스템이 구축됨
- 국내 재배되는 주요 양파와 마늘 품종에 대한 작물 모수 및 작물 모수 추정 시스템이 구축됨
- Seamless forecast를 위한 고해상도(1 km) 중기예측자료 생산 및 제공 서비스 운영
- 영향예보 서비스 및 농업용수 가뭄분석시스템 데이터베이스 구축

< 기타 >

- 농업가뭄의 경우 지역적으로 물관리 방식, 수리체계 등의 상이함으로 인하여 일괄적으로 적용하기 곤란하므로 전북의 왕궁저수지를 대상으로 현장에서 적용가능한 기상예측자료 활용 가뭄대책 수립연구를 진행하고 있으며, 여기서 수행한 내용을 매뉴얼화 하여 다 지역에 적용가능한 형태로 제시하고자 함
 - 외부 프로젝트 구성원 (현장 종사자, 외부기관 관련자 등)의 온라인 가입을 통해 다양한 수요 및 성과 정보를 공유할 수 있는 기반 확대
-

(2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2020~2021)	2단계 (2022)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	1		1	8.1
		실적(누적)	1		1	
	특허등록	목표(단계별)		1	1	
		실적(누적)		1	1	
	SCI논문	목표(단계별)	3	3	6	
		실적(누적)	2	4	6	
	비SCI 논문	목표(단계별)	3	3	6	
		실적(누적)	6	1	7	
	논문평균 IF	목표(단계별)	0.5		0.5	32.3
		실적(누적)	2.682		2.682	
	학술발표	목표(단계별)	8	4	12	12.9
		실적(누적)	9	5	14	
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실시 건수	목표(단계별)		1	1	
		실적(누적)		1	1	
	기술실시 기술료	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	제품화	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	매출액	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	고용창출	목표(단계별)	1	1	2	8.1
		실적(누적)	10		10	
	교육지도	목표(단계별)	1		1	8.1
		실적(누적)	1	3	4	
	인력양성	목표(단계별)	2	2	4	11.3
		실적(누적)	1	2	3	
	정책활용	목표(단계별)				
		실적(누적)				
	홍보전시	목표(단계별)	7	7	7	11.3
		실적(누적)	8	8	16	
기타 (타연구 활용)	목표(단계별)	1		1	8.1	
	실적(누적)	1	2	3		
계						

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

* 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

* 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/ 비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	NCAM-LAMP를 이용한 고해상도 일단위 기상기후 DB 구축: 일조시간 자료를 중심으로	한국농림기상학회지	이수정	22(3)	대한민국	한국농림기상학회	비SCIE	2020.09.28	1229-567	50
2	고해상도 규모상세화모델 KMAPP의 농업지역 기온 및 일사량 예측 성능: 맑은 날 철원 및 전북 사례 연구	한국농림기상학회지	신설은	22(4)	대한민국	한국농림기상학회	비SCIE	2020.12.30	1229-5971	50
3	Drought Monitoring Based on Vegetation Type and Reanalysis Data in Korea	Atmosphere	Seoyeon Lee	12	Switzerland	MDPI	SCI	2021.01.28	2073-4433	50
4	DNDC 지역별 구동을 위한 입력자료 생성 도구 개발	한국농림기상학회지	현신우	23(1)	대한민국	한국농림기상학회	비SCIE	2021.03.30	1229-5671	100
5	DNDC 지역별 구동을 위한 입력자료 생성 도구 개발	한국농림기상학회지	현신우	1	대한민국	한국농림기상학회	비SCIE	2021.03.31	1229-5671	100
6	신기후체제에서 국가 기후위기 대응 방향에 관한 제언	Disastronomy	오재호	4(1)	대한민국	(사)위기관리이론과실천	비SCIE	2021.06.30	2635-781	100
7	수리·수문설계시스템 및 비율모정계수 기법을 활용한 농업용 저수지의 홍수기 운영기준 평가	한국농공학회논문집	정형모	63(4)	대한민국	한국농공학회	비SCIE	2021.07.07	1738-3692	100
8	기계학습을 활용한 오리사 바닥재 수분 발생량 분석	한국농공학회논문집	김다인	63(6)	대한민국	한국농공학회	비SCIE	2021.11.30	1738-3692	50
9	강제 환기식 육계사 내부 열환경 균일성 평가	한국농공학회논문집	김다인	64(6)	대한민국	한국농공학회	비SCIE	2022.11.30	1738-3692	100
10	Development of Heat Stress Forecasting System in Mechanically Ventilated Broiler House Using Dynamic Energy Simulation	Agriculture	Jeonghwa Cho	12	Switzerland	MDPI	SCI	2022.10.11	2077-0472	100
11	GLUEOS: A high performance computing system based on the orchestration of containers for the GLUE parameter calibration of a crop growth model	Computers and Electronics in Agriculture	Shinwoo Hyun	197	USA	Elesvier	SCIE	2022.03.21	0168-1699	100

12	Monthly Agricultural Reservoir Storage Forecasting Using Machine Learning	Atmosphere	Soo-Jin Kim	13(11)	Switzerland	MDPI	SCI	2022.11.11	2073-4433	100
13	A Case Study of Bias Correction and the Dynamical Downscaling of CFSv2 S2S Forecasts Using a WRF Model: Heatwave in 2018 over South Korea	Atmosphere	Jiwon Oh	13(12)	Switzerland	MDPI	SCI	2022.12.11	2073-4433	100

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020년도 한국농림기상학회 학술 발표회	이서연	2020.08.28	on-line	대한민국
2	2020년도 한국농공학회 학술 발표회	김준규	2020.10.16	on-line	대한민국
3	2020년도 한국농공학회 학술발표회	김수진	2020.10.16	on-line	대한민국
4	2020 한국기상학회 가을 학술대회	이서연	2020.10.29	on-line	대한민국
5	2020 한국기상학회 가을 학술대회	신설은	2020.10.29	on-line	대한민국
6	AGU 2020 Fall Meeting	Seoyeon Lee	2020.12.08	on-line	미국
7	2021년 제2차 APCC 기후예측워크숍	이서연	2021.05.10	백스코 컨벤션홀 1층 회의장(101, 102, 106, 107호)	대한민국
8	5 th CIGR International Conference 2021	조정화	2021.05.14	online	캐나다
9	2021년도 한국농림기상학회 학술 발표회	현신우	2021.08.26	on-line	대한민국
10	2022 한국농촌계획학회 춘계 학술발표회	김수진	2022.05.20	서울대학교 농업생명과학대학 203동 101호	대한민국
11	2022년도 한국농림기상학회 하계 학술대회	조영상	2022.07.01	평창 용평리조트 그린피아 콘도	대한민국
12	2022년도 한국농공학회 학술발표회	조정화	2022.10.14	대구 인터볼고 호텔	대한민국
13	2022년도 한국농공학회 학술발표회	김수진	2022.10.14	대구 인터볼고 호텔	대한민국
14	2022년도 한국농림기상학회 동계 학술대회	오재호	2022.12.16	경주 더케이호텔 신관 3층 화랑B, C홀	대한민국

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	폭염에 의한 가축폐사 방지를 위한 서비스 제공 장치	대한민국	(재)국가 농림기상 센터 외 2명	2021.12 .08.	10-2021 -017482 0		(재)국가 농림기상 센터 외 2명	2022.10 .28.	10-2462 408	100	Y

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	GLDAS 자료 포맷 변환 프로그램	2021.11.19	재단법인 국가농림기상센터	2021.11.25	C-2021-050694	재단법인 국가농림기상센터	100
2	Agricultural Drought Analysis Model(농업 용수 가뭄 시스템 웹서비스)	2022.09.14.	(주)에스이랩	2022.09.21.	C-2022-036251	(주)에스이랩	100
3	Poultry Heatstress Web Service(조류 고온 스트레스 영향 예보 웹서비스)	2022.09.14.	(주)에스이랩	2022.09.21.	C-2022-036250	(주)에스이랩	100

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	전용실시권	LAMP를 이용하여 생산된 기상예측 자료의 활용	(주)에스이랩	2022-12-29	5,000,000	5,000,000

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	양계 폭염스트레스 예보 사이트	국내	농촌현안 리빙랩	수요자맞춤 고온스트레스 영향예보 서비스	(주)에스 이랩	0	0	0	
2	자기실기	농업용수 가뭄분석 시스템 사이트	국내	농촌현안 리빙랩	농업 용수 가뭄 분석 예보 서비스	(주)에스 이랩	0	0	0	

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
	국외				
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1		(재)국가농림기상센터	2	4	6
2		(유)나노웨더	2		2
3		유역통합관리연구원		1	1
4	농촌 리빙랩	(주)에스이랩		1	1
합계			4	6	10

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력		
		생산인력		
	개발 후	연구인력		
		생산인력		

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도), 교육지도

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	대기환경과 농업시설 - 기상모델링(NWP)	2021.09.29	서울대학교 대학원생	온라인교육 (서울대학교 대학원강의)	10
2	중장기 예보자료를 활용한 농업가뭄 확산예측 모형 설명	2022.06.20	경상국립대학교 지역시스템공학과 학부 4학년	경상국립대학교 지역시스템공학과 세미나실	11
3	중장기 예보자료를 활용한 농업가뭄 확산예측 모형 설명	2022.07.06	전남대학교 지역바이오시스템공학과 대학원생	전남대학교 지역바이오시스템공학과 세미나실	7
4	리빙랩 기반 농업용수 사전관리 및 피해저감 방안 마련 관련 내용 설명	2022.12.09	경상국립대학교 지역시스템공학과 학부 1학년	경상국립대학교 지역시스템공학과 117호 강의실	15

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	건물에너지 시뮬레이션과 농림기상 예보를 이용한 강제환기식 육계사 내의 가금 고온스트레스 예보 웹서비스 시스템	농림축산식품부	2022	
2	제안	기상예측자료 및 머신러닝기법을 이용한 농업용 저수지 저수율 예측기법 활용	농림축산식품부	2022	

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	서울대 위탁1	2021					1		1				
			1										
		2022					1	1	2				
			1	1									

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	중앙TV방송	KBS뉴스	[기후 위기]② “21세기말 겨울 사라진다...폭염 속 기후난민·식량난·물부족 일상화”	2020.09.09
2	중앙전문지	정보통신신문	나노웨더, 날씨로 스마트시티에 ‘디테일’을 더하다	2021.09.01
3	박람회 참가	기상기후산업박람회	농림축산분야에 특화된 지면대기모델링패키지 (LAMP) 서비스	2021.09.14-18
4	박람회 참가	기상기후산업박람회	농업 맞춤형 기상기후 정보서비스	2021.09.14-18
5	박람회 참가	기상기후산업박람회	건물 에너지 시뮬레이션을 이용한 가축 고온스트레스 예측 시스템	2021.09.14-18
6	박람회 참가	기상기후산업박람회	이음새없는 농업기상예측정보 제공 서비스(WEDAS)	2021.09.14-18
7	박람회 참가	기상기후산업박람회	WEATHER & CLIMATE	2021.09.14-18
8	박람회 참가	기상기후산업박람회	Simple 양파/마늘 생산량 예측 앱	2021.09.14-18
9	지방일간지	아산데스크	이명수 의원, ‘기후위기에 따른 자연재난 대응, 새 정부에 바란다’ 세미나 성료	2022.04.21
10	기타	2022년도 한국농림기상학회 하계학술발표회	2021 스마트시티 넥스트 혁신기술 실증사업	2022.07.01
11	중앙TV방송	YTN	[뉴있저] 기록적인 폭우, 기후변화 탓?...“다음 주 더 강한 비”	2022.08.12
12	Internet/PC통신	축산신문	양계 폭염 스트레스 예보(PHS) 배너 광고	2022.11.01

13	박람회 참가	기상기후산업박람회	건물 에너지 시뮬레이션을 이용한 강제 환기식 육계사의 고온 스트레스 예경보 시스템	2022.11.21-24
14	박람회 참가	기상기후산업박람회	농림축산분야에 특화된 지면대기모델링 패키지 서비스	2022.11.21-24
15	중앙일간지	news1 뉴스	"기후위기 극복하자"...뉴스1 세종충북 대응전략 포럼 개최	2022.12.09
16	기타	2022년도 한국농림기상학회 동계 학술발표회	농작물 가뭄피해 저감을 위한 모바일 앱 기반 의사결정 지원시스템 개발	2022.12.15-16

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 정확도 높은 고해상도 다중규모 기상·기후 실시간 예측자료 생산 체계 구축	○ UM/LAMP를 통한 단중기 예측, CFS/Alpha Met를 통한 중장기 예측, NMME를 통한 장기 예측 기상-기후 자료를 정확도 높은 고해상도(1km)로 생산하는 체계 구축하고 운영함	100%
○ 기상예보와 연계된 가축 고온스트레스 예경보 시스템 구축	○ 기상예보와 연계하여 가축의 고온스트레스를 동적으로 평가하고 사용자에게 실시간 예보하는 서비스 시스템을 구축함	100%
○ 농작물 가뭄피해 저감을 위한 다중규모 예측정보 기반 스마트폰 의사결정 지원시스템 개발	○ 안드로이드 앱을 기반으로 다중 규모 예측 기상자료 활용이 가능한 가뭄 피해 저감 의사결정 지원 모바일 어플리케이션이 개발 되었음	100%
○ 농업가뭄 확산 및 수요예측 기반 리빙랩 방식 농업용수 피해 저감기술 개발	○ 당초연구목표 대비 국내 농업용수 관리에 적합한 가뭄지수 개발 및 적용하였으며, 수요 기반 농업용수 관리를 통해 피해를 저감할 수 있도록 농업용 저수지 저수율 예측기술을 개발하였음	100%
○ 농촌 현장문제 해결을 위한 수요자 참여기반 지역 맞춤형 영향 예보 서비스 체계 구축	○ 기상예보와 연계된 가축 고온 스트레스 예 경보 시스템을 활용하여 PHS 사이트를 구축하였으며 22년 여름에 실제 전북 지역 양계업자들의 양계장 정보를 활용하여 고온 스트레스 예 경보 웹서비스와 문자 서비스를 구축하여 운영 진행함. ○ 농업가뭄 확산 및 수요예측 기반 리빙랩 방식 농업용수 피해 저감기술을 활용하여 ADAM 사이트를 구축하였으며 농업용수를 활용한 가뭄 예 경보 시스템 서비스를 실제 웹서비스로 구축하여 운영 진행 함.	100%

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 인력 양성 1명 미달성 : 2023년 8월에 박사 졸업으로 양성 예정
 - 기타(타연구활용) 미달성 : 타연구개발활용을 위한 기반 기술을 개발하는 과정에서 지연됨
-

2) 자체 보완활동

- 단/중기 기상모델인 LAMP의 경우, 농촌진흥청의 농업용 우박예측, 중국발 비래해충 유입 예측, 산림청의 산사태 발생 예측 등의 타 연구에 입력기상 자료로 활용되었음
-

3) 연구개발 과정의 성실성

- 주관기관에서는 위탁기관들 및 협동기관들과 연초 킥오프 대면 미팅을 시작으로, 코로나 상황을 감안하여 연중 수시로 온라인 화상회의를 소집하여, 기관 간 그리고 연구자들간 실제적인 연구진행 상황과 결과물을 공유하고 원활한 소통과 협업이 이루어지도록 하였음. 또한 매년 기상기후산업박람회에 모든 위탁 및 협동 기관의 연구결과물들이 전시 및 홍보되도록 하여, 목표한 리빙랩 기반의 서비스 구현을 내실있게 하였음
 - 국내 연구개발 사례보다 정확도 높은 가축 고온스트레스 평가값을 제시하기 위하여 동적 수치해석 모델을 개발하였으며 하절기부터 환절기까지 다수의 전라도 지역 육계사에서 현장실험하여 모델상에 반영하기 위하여 노력함
 - 관측기반 계절예보자료 및 고해상도 격자기반 계절예보자료의 생산을 완료하였으며, 이를 서비스화 하기 위하여 에스이랩과 협력하여 기상예측자료 제공서비스(WEDAS)을 개발하고, 연구개발의 성과를 사업화하는 과정을 성실히 수행하였으며, 이를 통하여 농민들에게 기상예측정보를 활용하여 작물관리에 활용되도록 하였음
 - 농업가뭄 현장서비스의 경우 전라북도 전 지역의 농업가뭄정보제공을 위한 SPEI 및 RDI 지수에 대한 개발을 완료하여 에스이랩과 함께 이를 시스템화하였으며, 현장문제 해결을 위하여 왕궁저수지를 현장 적용 지역으로 선정하여 관련 기관(한국농어촌공사)와 관련 단체 및 현장 농민들과 협력체계를 구축하여 수행하였음
 - 중장기(45일) 고해상도 기상예측자료를 안정적으로 서비스할 수 있도록 체계를 구축하여, 저수지 관리 및 작물 생육 예측 모델 연구자들이 활용할 수 있도록 하였음.
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

[기술적 측면]

- 농업분야 기상 자료동화 기법을 적용한 결과의 학계 공유
- 가축 고온스트레스 평가 지표 및 위험도 평가 방법론 제시
- 폭염 시 실시간 고온스트레스 지수 산정 및 예보시스템의 기초자료 DB 구축
- 기존 농업기상정보시스템은 전국을 대상으로 농업 지대별, 농작물 주요 생산지역별 순별 기상전망 정보를 제공하고 있음. 본 연구에서 생산하는 고해상도 중장기 기상예측정보는 농가 단위로 기상정보 서비스가 가능하며, 농업용수 관리를 위한 데이터로 활용될 수 있음.
- ADAM 사이트는 농업용수가뭍분석시스템은 농업 생산에 직접적 영향을 미칠 수 있는 전라북도 농업저수지들의 저수율을 위험 등급을 4단계로 나타내어 관심일수/주의일수/경계일수/심각일수 일수로 나타내어 편리하게 사용가능하도록 표출하였으며 차트를 통해 시각적 효과를 높임

[경제적·산업적 측면]

- 목표 서비스 지역의 여러 기관에서 상세화 기후자료를 활용한 기후변화 적응 의사결정을 원활히 하도록 기반자료 지원, 하절기 고온스트레스로 인한 가축폐사량 감소 방안 제시
- 가축 고온스트레스 저감을 위한 축사 운영 권장안 제시
- 지구 온난화에 따라 증가한 불확실성을 정량적으로 추정하여 안정적 작물생육 계획을 위한 기상정보 제공
- 모바일 앱 기반 작물 생육 전망 시스템 구축으로 효율적인 의사결정 지원
 - 작물 생산성 전망 자료를 활용한 객관적인 물관리 방안 도출 및 수자원 활용 최적화
 - 장기 예보 자료를 활용한 최적 작물 선정 및 농가 수준의 재배 관리 자료 수집을 통한 작물 재배 빅데이터 구축
- 가뭄피해 예상 지역에 대한 용수확보를 위한 저수지 연계운영 등 선제적 관리방안 도입을 통한 가뭄피해액 최소화
- 2018년도 이후 추진되고 있는 물관리일원화와 관련하여 농업용수를 포함한 통합물관리를 위한 의사결정에 있어서 이음새 없는 기후정보 (seamless climate information)의 물관리 실무에 활용을 통해 효율성 극대화 및 이를 통한 경제적, 환경적 가치 창출

[사회적 측면]

- 기후변화에 취약한 농촌 지역의 현장 맞춤형 영향예보로 제공하여 심각해지는 폭염과 가뭄과 같은 기상이변에 대한 사회적 대응 역량 및 안전망 강화
- 정확한 농림기상정보 제공으로 가뭄, 폭염, 홍수와 관련된 재해 최소화 및 산불과 같은 파생 자연 재해에 대비
- 개발된 스마트폰 기반의 양파, 마늘, 벼 등 연구대상지역 주요 작물재배 의사결정시스템은 향후 디지털 농업 발전에 핵심 엔진으로 역할
- 국민체감형 기상정보 제공하여 기상 정보뿐만 아니라 해당 지역의 폭염예보와 가뭄에 대한 관련된 정보를 제공. 이는 연구원뿐만 아니라 일반인들에게도 더욱 직관적으로 접근할 수 있는 기상정보를 제공하는 차별성을 둠
- PHS 사이트는 전라북도 기상 정보 뿐만아니라 소비자맞춤 영향예보를 위한 양계업자의 계사정보와 기상정보를 통해 고온스트레스 위험 지수를 나타냄으로써 폭염으로 인한 폐사의 위험을 낮춤

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1) 연구개발성과의 관리계획

- 국가농림기상센터의 단중기 기상예측, 나노웨터의 중장기 기상예측, 유역관리통합연구원의 장기 기상예측 자료는 이음새없는 다중규모 기상예측자료(Seamless multi-scale weather forecasting)로 구축되어 전북 지역에 대하여 1km 고해상도로 제공이 되고 있으며, 전북 지역의 기상자료를 필요로 하는 수요자에게 활용
- 풍속과 강우는 각각 바람의 난류적 성질과 강우의 비선형적 성질로 인하여 기온에 비하여 정확도가 상대적으로 낮음. 향후 기상청의 최신 수치모델 입력 자료로 대체하고, 전북 지역 기상 AWS 및 축사에서 운영 중인 AWS 자료를 확보하여, 자료동화를 수행하거나 연구 대상지역(또는 지점) 맞춤형 인공지능 기반 후처리 기법 개발을 통해 정확도를 향상 시키고자 함
- 축사 관련 종사자에게 축사 관련 정보를 입력받아 모델을 연산하면 농장 상황별 축사 내부 가축고온스트레스 모의 구현을 통해 고온스트레스 임계점을 넘지 않도록 운영 환기량을 연산하여 사용자에게 제공할 수 있는 모델로 발전
- 기상 예보와 사육환경 관리를 통해 계사별로 고온스트레스 지수를 예측하여 사용자에게 알리는 서비스를 이용하여 피해 저감을 실현하기 위해서는 현열 열손실량을 늘리도록 적절한 환기를 해야 함. 계군 주변의 바람으로 인한 열 감소 효과는 더운 날씨에 대류 열손실을 증가시켜 체온을 감소시킬 수 있음. 열손실량이 부족할 경우 강제환기식 축사에서 높은 풍속과 증발냉각 시스템의 조합은 유효 공기온도를 크게 낮추고 가축과 주변 공기환경 사이의 열 구배를 증가시켜 현열 손실을 최대화할 수 있음. 가금류는 땀샘이 없지만 폐와 피부에서 수분을 증발시킬 수 있기 때문에 내외부의 상대습도 차가 클 경우 다음과 같은 방법을 사용할 수 있음. (1)상업적으로 큰 축사는 주간 온도를 낮추기 보다 일일 평균 온도를 낮추는 환기전략을 사용하여 적극적인 야간의 온도 조절이 운영 비용을 절감시킬 수도 있음. (2)또한 영양소 대사에 필수적인 음수 온도를 낮추어 체온을 낮추며 고온으로 인한 가축의 피해를 저감시킬 수 있음
- 이상기후로 인해 빈번해지고 있는 피해를 최소화하기 위하여 양돈, 양계 농가의 생산성 저하되거나 폐사되는 피해를 입기 전 적절한 축사환경 개선 및 대처가 절실함. 농진청에서 가축사육 기상정보 서비스를 운영 중이나, 반무창 및 무창 시설 내에서 사육되는 돼지와 가금류의 고온스트레스 판단 기준에 날씨 예보 값을 직접 적용하여 사육정보 및 축사 구조, 설비 등에 따른 축사 내부 모의가 불가능하므로, 현장 맞춤형 예보라고 보기 어려움. 또한 축산시설이 대형화되고 밀집사육이 이루어지면서 가축에 의한 열 및 수분 발생량이 현잠열 에너지 흐름 모의에 중요한 인자로서 작용함. 유럽 기상 환경 및 품종에 의한 발열량을 예전 문헌 그대로 차용하지 않고 우리나라 상황에 적합한 열 발생량 산정이 필요함. 가금류 외에 돼지, 소 등 타 축종에 대하여도 이러한 연구를 확장하고 여러 환기 방법에 대해 기상 영향예보를 응용한다면, 고온기에 여러 가축의 열 저항성을 높여 효율적으로 대비할 수 있음.
- 우리나라의 기상기후 및 축사 환경에서 사육 시 발생하는 열 및 수분량을 산정하여 좀더 정확한 동적 에너지 모델을 개발한다면, 고온스트레스 결과의 예측성이 높게 나타날 수 있음. 마지막으로 해당 서비스를 사용하는 농가 수가 증가함에 따라 예보 지역도 확대된다면 이로 인한 기상정보 연계 예경보 정보양이 급격히 증가할 것으로 예상됨. 웹서비스를 통해 구축되는 데이터 베이스를 이용하여 기계학습을 적용하고 지속적으로 피드

백한다면 품질이 개선될 것으로 예상됨

- 양파, 마늘 농가는 가뭄 피해 저감을 위한 모바일 앱에서 제공하는 정보를 적정 파종일 설정 및 관개 시설 투자 계획 수립에 활용할 수 있음. 가뭄 피해 저감 모바일앱에서는 파종일 및 관개 수준에 따른 수량 전망 자료를 제공함. 농가는 파종일별 수량성 비교를 통해 가뭄 피해를 최소화할 수 있는 파종 시기를 탐색할 수 있음. 또한 무관개, 최소관개, 적정관개 및 최대관개 별 상대적 수량성을 비교할 수 있어, 농가에서는 적정 수량을 기대할 수 있는 관개 목표를 설정할 수 있음. 관개를 위해서는 관개용수 및 관개 시설이 준비되어야 함. 따라서 농가에서는 설정한 관개 목표를 달성하기 위한 관정, 지하수 및 저수지 등의 시설에 대한 개발 및 점검을 계획할 수 있음
- 중장기 기상예측자료 및 머신러닝 기법을 활용한 농업가뭄지수 예측 및 농업용 저수지 저수율 예측은 관련기관 및 농민에게 서비스를 제공함으로써 사전 및 항구적 농업가뭄대책 수립, 농업가뭄 교육 및 홍보 등의 업무에 적극적으로 활용할 수 있음. 특히 물관리 담당자(한국농어촌공사, 지자체)는 모내기 등 본격적인 영농기에 대비할 수 있으며, 가뭄 피해 예상 지역에 대한 용수확보를 위한 저수지 연계운영 등 선제적 가뭄관리 방안에 활용함으로써 가뭄피해 최소화에 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 최종 수요자인 농업인들은 용수의 주공급원인 저수지의 저수율에 대해 미리 파악함으로써 스스로 물절약의 필요성을 체감할 수 있도록 유도할 수 있음. 또한 주민과 공공기관이 참여하는 물 절약 캠페인, 가뭄 시 농민 행동을 유도하기 위한 가장 현실적인 방안으로 판단됨
- 물관리 담당자(한국농어촌공사, 지자체)가 객관적이고 체계적으로 지역의 가뭄을 판단할 수 있도록 수요자 맞춤형 저수율 예측 서비스가 이루어져야 함. 공사관리 저수지를 대상으로만 저수율 예측 결과를 서비스하고 있음에 따라 고도화를 통해 시군관리 저수지에 대해서도 저수율 예측 서비스를 제공되어야 함. 또한 향후에는 공사관리 저수지 및 시군관리 저수지 전체에 대해 하나의 통합된 정보시스템을 구축하여 상시 저수율 파악, 저수율 예측, 물관리 업무의 정보 등이 제공되도록 해야 함
- 본 시스템(ADAM)의 대상 저수지가 전국으로 확대될 경우, 최종 수요자인 농민에게 보다 효율적으로 예측 정보를 제공하기 위해서 통계 정보 시각화(그래프), 편리한 검색 기능, 저수율 심각단계 알림 서비스 등의 고도화가 필요함. 아울러 실제 저수지 공급량 자료를 고려하여 저수율 예측의 정확도를 높이는 것이 필요하며, 실시간으로 데이터가 축적됨에 따라 기계학습 모듈이 자동으로 재학습 됨으로써 갱신 주기를 최소화하여 활용도를 높이는 노력도 필요함
- 예측 모델의 정확도를 높이기 위해서는 충분한 양의 데이터가 필요하므로 사용자의 실제 활동 데이터를 수집하여 분석하여 모델의 정확도를 높일 수 있음
- 사용자의 편의성 개선을 위한 사용성 개선을 위해, 직관적인 UI/UX 활용을 위해 더 필요한 부분은 무엇인지 실 사용자들의 의견 수렴을 계속해서 적용해야 함
- 성공적으로 고도화하기 위해서는 홍보 및 마케팅 전략이 필요함. 이를 위해 사용자들이 쉽게 접근하고 활용할 수 있도록 다양한 채널을 활용하여 홍보하고, 축산신문사 배너광고뿐만 아니라 양계업자가 쉽게 접근하는 웹사이트 및 지자체로 홍보 범위를 확대하여 실사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 홍보가 필요
- 현재 제시된 고온 스트레스 컬러 차트를 활용하여 구체적인 방안 지속적 마련
 - 현재 소비자 맞춤 고온 스트레스 영향예보는 소비자의 계사 정보와 국가 농림 기상센터 LAMP 모델의 기상 예보 데이터를 활용해서 안내하고 있기때문에 소비자의 계사의 상대습도와 더위지수를 활용해 구체적인 메뉴얼 제작 검토

- 고온 스트레스 지수나 상대습도, 내부온도, 외부온도에 해당하는 구체적인 메뉴얼을 작성하여 해당 등급을 세부적으로 나누도록 검토
- 제작해둔 구체적인 메뉴얼을 활용해 사용자별 계사 정보와 고온 스트레스 지수, 상대습도, 내부 기온 등을 활용해 농민들이 활용할 수 있도록 “계사 내 물을 뿌려야 한다”, “환기가 더 필요하다” 등 농민들이 위험에 대응할 수 있는 구체적인 대처 가이드 방안 문자메시지 알람 발송
- 문자 메시지뿐만 아니라 웹 서비스를 이용하는 사용자를 위해 웹에 위험지수와 아이콘으로 시각화 효과를 높여 표출

2) 연구개발성과의 사업화 방안

- 성공적으로 고도화하기 위해서는 홍보 및 마케팅 전략이 필요하며, 사용자들이 쉽게 접근하고 활용할 수 있도록 다양한 채널을 활용하여 홍보
- 기관이나 지자체와 협력하여 협력체계를 구축하고 서비스 홍보 및 사용자 지원을 할 수 있도록 사용자들에게 무료로 쓸 수 있는 기반을 구축
- 지속적인 업그레이드 및 개선을 위해, 실사용자들의 대상 계절 피드백을 수집하여 기능 개선 및 업그레이드를 지속적 진행하여 고객 만족도를 높이고 경쟁력을 강화하고, 개선된 의견 혹은 고객 피드백을 바로 적용할 수 있도록 고객 불만 데스크를 지속적 운영 예정
- 현재 전북지역을 대상으로 한 프로젝트에서 차후 추가 연구개발 사업 등을 바탕으로 전국적으로 지역 확대 예정
- 모바일 앱에 탑재된 양파 및 마늘 생육 모의 모형의 추가적인 신뢰도 검증 등의 보완이 필요함. 농가에서 작물 모형의 활용을 위해서는 모형의 신뢰도에 대한 정보를 제공하는 것이 중요함. 본 연구에서 수집된 마늘 및 양파 농가 자료는 시비 및 관수 등에 대한 정보가 충분히 수집되지 않아 모의 결과 비교에 한계가 있었음. 추후 고품질의 관측 자료를 기반으로한 신뢰도 검증 수행을 통해 모바일 앱 활용의 신뢰도 정보를 제공해야 할 것임
- 개발된 가뭄 피해 저감 의사결정 지원 모바일 앱은 앱 스토어에 출시를 통한 사업화가 가능함. 앱 활용 증대를 위해서는 사용자 환경 개선이 필요할 수 있음. 개발된 앱의 사용자 피드백을 통해 사용법과 인터페이스 디자인을 쉽고 직관적으로 개선할 수 있을 것을 보임. 또한 작물 모형에서 얻을 수 있는 정보 중 농가에서 필요한 관수가 필요한 시점 등에 대한 확실적인 정보를 제공할 수 있음. 추가로 가뭄 피해 뿐 아니라 양파 및 마늘 농가들이 필요로 하는 병해충 등에 대한 정보를 제공하는 것이 고려될 수 있음
- 농촌용수 공급의 중추적인 역할을 담당하는 저수지는 이원적 체계(한국농어촌공사, 지자체)로 이루어져 있으며, 현재 시군관리 저수지에 대한 물관리 정보시스템이 부재한 상황임. 또한 관계부처 합동 가뭄 예·경보는 부처별로 직접 생산·관리하는 데이터 위주로 분석·평가되어 지자체 체감가뭄과의 괴리가 발생하고 있음
- 따라서 예·경보 결과와 지역체감가뭄 사이의 편차 최소화를 위해서는 공사관리 저수지 뿐만 아니라 시군관리 저수지에 대해서도 저수율 데이터를 축적하고, 저수율 예·경보 서비스가 반드시 필요함

○ 목표시장 분석

- 글로벌 기상예보서비스 시장규모를 예보기간별 성장률 전망에 따르면(한국기상산업기술원, 2022) '21년 장기에보(10일~계절) 성장률이 단기, 중기에 비해 다소 높고 '28년까지 높은 성장률(10.31%) 지속될 전망
- 장기에측 자료는 전력량 수요예측, 효율적인 물류관리 등을 위한 정책 수립 및 기후변화에 대한 관심 증가로 수요 발생
- 융합분야별 글로벌 기상예보서비스 시장규모를 살펴보면, 최근 5년 미디어(9.29%), 농업(9.25%)의 성장률이 높았고, '21년 이후 농업(10.42%), 해양(10.22%) 분야가 높아질 것으로 전망(한국기상산업기술원, 2022)
- 정밀농업, 농가 의사결정에 농업에 필수적인 기상정보를 활용하는 수요가 증가될 전망

	단기(~72시간)	중기(4~10일)	장기(10일~계절)
2021년 시장규모(백만달러)	725.92	1934.22	425.14
2018년 시장규모(백만달러)	1373.83	3612.00	849.21
2017-2021 연평균성장률(%)	8.71	8.41	9.26
2022-2028 연평균성장률(%)	9.57	9.22	10.31

표 161. 예보기간별 시장규모 및 연평균성장률 전망

자료: 한국기상산업기술원, 글로벌 기상예보서비스 시장동향 및 주요기업 현황(2022)

	항공	미디어	에너지.공공	운송.물류	보험	농업	해양	기타
2021년 시장규모(백만달러)	215.42	403.84	340.53	375.58	221.43	550.63	736.04	241.81
2018년 시장규모(백만달러)	254.13	790.14	625.83	711.32	428.73	1103.30	1455.42	466.17
2017-2021 연평균성장률(%)	4.98	9.29	7.80	8.56	8.85	9.25	9.02	9.12
2022-2028 연평균성장률(%)	1.80	10.05	9.04	9.37	9.87	10.42	10.22	9.73

표 162. 융합분야별 시장규모 및 연평균성장률 전망

자료: 한국기상산업기술원, 글로벌 기상예보서비스 시장동향 및 주요기업 현황(2022)

○ 기반기술 확보 및 제품 개발 전략

- 본 사업의 최종개발성과로써, 리빙랩을 위해 구축한 고해상도 중기 기상정보 생산 시스템을 활용
- 현업화 및 데이터 생산/전송체계 안정화 완료된 시스템을 기반으로 타 지역에 확장하고, ①실시간 고해상도 농업기상 데이터, ②중장기 농업기상예측 데이터를 생산

○ 비즈니스 모델 개발 방안

- 수요자를 이미 확보하고 있는 서비스 플랫폼에 데이터 제공자(Provider)로써 데이터 판매 수익창출 구조
- 고해상도 농업기상 데이터를 활용한 컨설팅 사업화

○ 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 관리 모델은 매뉴얼화를 본 과제에서 진행하였으므로, 타 지역에도 확장 및 적용

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE	1				
	비SCIE					
	계	1				
국내논문	SCIE					
	비SCIE	1				
	계	1				
특허출원	국내					
	국외					
	계					
특허등록	국내					
	국외					
	계					
인력양성	학사					
	석사					
	박사	1				
	계					
사업화	상품출시					
	기술이전	1	1			
	공정개발					
	시제품개발					
	매출액(단위 : 천원)	10,000	20,000	20,000	20,000	20,000
	기술료(단위 : 천원)	5,000	5,000	5,000		
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보		7				
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서
2.	1) 2)

NCAM-LAMP를 이용한 고해상도 일단위 기상기후 DB 구축: 일조시간 자료를 중심으로

이수정¹, 이승재^{*}, 구자섭²

¹국가농림기상센터, ²주제이비티

(2020년 9월 1일 접수; 2020년 9월 26일 수정; 2020년 9월 28일 수락)

Database Construction of High-resolution Daily Meteorological and Climatological Data Using NCAM-LAMP: Sunshine Hour Data

Su-Jung Lee¹, Seung-Jae Lee^{*}, Ja-seob Koo²

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul, Korea

²JB Technology Co., Ltd, Seoul, Korea

(Received September 1, 2020; Revised September 26, 2020; Accepted September 28, 2020)

ABSTRACT

Shortwave radiation and sunshine hours (SHOUR) are important variables having many applications, including crop growth. However, observational data for these variables have low horizontal resolution, rendering its application to related research and decision making on farming practices challenging. In the present study, hourly solar radiation data were physically generated using the Land-Atmosphere Modeling Package (LAMP) at the National Center for Agro-Meteorology, and then daily SHOUR fields were calculated through statistical downscaling. After data quality evaluation, including case studies, the SHOUR data were added to the existing publicly accessible LAMP daily database. The LAMP daily dataset, newly updated with SHOUR, has been provided operationally as input data to the "Gyeonggi-do Agricultural Drought Prediction System," which predicts agricultural weather disasters and field crop growth status.

Key words: Shortwave radiation, Sunshine hour, Statistical downscaling, LAMP

I. 서 론

태양 복사 중 지표면에 도달하는 양과 시간은 지표면 에너지 수지에 있어서 근원적인 에너지로서 현열과 잠열 및 지중열 등으로 분산되어 흩어지는 가운데 지표면 식생 등의 생물권에 지대한 영향을 미친다. 일사량과 일조시간은 작물의 수확량과 품질에 큰 영향을 주는 중요한 기상 및 기후변수로서 생육 모델 등에 필수 인자로 고려되고 있으며(Chung *et al.*, 2013;

Kim and Yun, 2015; Song *et al.*, 2009; Teh, 2006), 최근에는 탈원전 산업과 관련하여 태양광 시설 부지를 결정하고 운영하는 데에도 사용된다(Jo *et al.*, 2011; Jo *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2020). 지표에

감사의 글

본 연구는 한국정보화진흥원 데이터 플랫폼 사업, 농촌진흥청 연구사업 '미세먼지에 의한 농작물 생산피해 예측 및 평가기술 개발' (새부과제번호: PJ014189-032019), 농림식품기술기획평가원 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트 사업(120099-03)의 지원들을 받아 이루어진 것입니다.



* Corresponding Author:

한국농림기상학회지, 제22권 제4호(2020) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 22, No. 4, (2020), pp. 312-326
DOI: 10.5532/KJAFM.2020.22.4.312
© Author(s) 2020. CC Attribution 3.0 License.

고해상도 규모상세화모델 KMAPP의 농업지역 기온 및 일사량 예측 성능: 맑은 날 철원 및 전북 사례 연구

신설은¹, 이승재^{*}, 노일석¹, 김수현¹, 소윤영¹, 이서연¹, 민병훈², 김규량²

¹국가농림기상센터, ²국립기상과학원
(2020년 11월 3일 접수; 2020년 12월 7일 수정; 2020년 12월 15일 수락)

Temperature and Solar Radiation Prediction Performance of High-resolution KMAPP Model in Agricultural Areas: Clear Sky Case Studies in Cheorwon and Jeonbuk Province

Seoleun Shin¹, Seung-Jae Lee^{*}, Ilseok Noh¹, Soo-Hyun Kim¹, Yun-Young So¹,
Seoyeon Lee¹, Byung Hoon Min², Kyu Rang Kim²

¹National Center for AgroMeteorology, ²National Institute of Meteorological Sciences
(Received November 3, 2020; Revised December 7, 2020; Accepted December 15, 2020)

ABSTRACT

Generation of weather forecasts at 100 m resolution through a statistical downscaling process was implemented by Korea Meteorological Administration Post-Processing (KMAPP) system. The KMAPP data started to be used in various industries such as hydrologic, agricultural, and renewable energy, sports, etc. Cheorwon area and Jeonbuk area have horizontal planes in a relatively wide range in Korea, where there are many complex mountainous areas. Cheorwon, which has a large number of in-situ and remotely sensed phenological data over large-scale rice paddy cultivation areas, is considered as an appropriate area for verifying KMAPP prediction performance in agricultural areas. In this study, the performance of predicting KMAPP temperature changes according to ecological changes in agricultural areas in Cheorwon was compared and verified using KMA and National Center for AgroMeteorology (NCAM) observations. Also, during the heat wave in Jeonbuk Province, solar radiation forecast was verified using Automated Synoptic Observing System (ASOS) data to review the usefulness of KMAPP forecast data as input data for application models such as livestock heat stress models. Although there is a limit to the need for more cases to be collected and selected, the improvement in post-harvest temperature forecasting performance in agricultural areas over ordinary residential areas has led to indirect guesses of the biophysical and phenological effects on forecasting accuracy. In the case of solar radiation prediction, it is expected that KMAPP data will be used in the application model as detailed regional forecast data, as it tends to be consistent with observed values, although errors are inevitable due to human activity in agricultural land and data unit conversion.

Key words: KMAPP, Rice paddy, LAI, Heat wave

감사의 글

본 연구는 기상청 국립기상과학원 생명농림기상 기술개발(KMA2018-00620)과 농림수산식품기술기획평가원 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트사업(120099031SB010)의 지원으로 수행되었습니다. 국가농림기상센터 철원 며느리 관측지(CRK) 자료를 제공해 주신 사이트 관리자 분들께 감사드립니다.



* Corresponding Author: Seung-Jae Lee

Article

Drought Monitoring Based on Vegetation Type and Reanalysis Data in Korea

Seoyeon Lee ¹, Seung-Jae Lee ^{1*}, Keunchang Jang ² and Jung-Hwa Chun ²

¹ National Center for AgroMeteorology, Seoul 08826, Korea; sylee@ncam.kr

² National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea; kjang@korea.kr (K.J.); chunjh@korea.kr (J.-H.C.)

* Correspondence:

Abstract: Droughts affect economic, social, and environmental aspects in regions such as the Korean Peninsula, where more than 70% of the area comprises forests; hence, their monitoring is imperative. Despite the many indices and methodologies developed for monitoring, diagnosing droughts using reanalysis data is challenging as the data are characterized by low resolution and simplified vegetation classification. This study utilized a recently released ERA5 reanalysis dataset and its vegetation type information to derive indices that represent meteorological drought. Furthermore, their accuracy in South Korea, based on observation data, was evaluated. The spatio-temporal variability of droughts was analyzed using various factor and correlation analysis methods considering different atmospheric variables and soil moisture. The validity of the method was verified by comparing the observed and obtained data. Soil moisture in the first and second soil layers was sensitive to droughts in low-vegetation areas, thus requiring relatively frequent monitoring of precipitation and evapotranspiration near the topsoil. High-vegetation areas were most affected in the third layers one month after the drought. Hence, forest drought monitoring should consider precipitation, evapotranspiration, and runoff one month in advance. The results obtained herein can be used for forest drought monitoring one month before its occurrence.

Keywords: drought; vegetation type; reanalysis; ERA5; drought indices

Citation: Lee, S.; Lee, S.-J.; Jang, K.; Chun, J.H. Drought Monitoring Based on Vegetation Type and Reanalysis Data in Korea. *Atmosphere* **2021**, *12*, 170. <https://doi.org/10.3390/atmos12020170>

Received: 4 December 2020

Accepted: 23 January 2021

Published: 28 January 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Droughts occur when the duration of abnormally dry conditions poses a high risk to the local hydrological balance. They cause critical issues for societies, economies, the environment, and human life [1]. Seas surround the Korean Peninsula on three sides, and a mountain range extends from north to south. This causes a considerable variation in precipitation according to region, season, and period, and this gap in precipitation rate is closely related to the drought characteristics of the peninsula. Furthermore, this is a significantly important topic of study as more than 70% of this peninsula is covered by forests. Various indices have been developed and used for drought monitoring to determine the degrees of drought [2]. Zarei et al. [3] and Ryu et al. [4] quantitatively identified historical drought events using various drought indices and evaluated the variabilities of these indices. Other studies investigated several drought cases to compare drought indices and use them to detect the severity and variability of past drought cases [5,6]. However, there have been difficulties in diagnosing droughts in the forests in South Korea using reanalysis data due to their low resolution and the simple vegetation classification. Therefore, identifying the correlation between droughts and different types of vegetation could help enhance understanding of these drought events and their management. However, research on this correlation is scarce. Studies aimed at associating local vegetation with the severity and causes of droughts should consider various

Funding: This research was funded by the National Institute of Forest Science, grant number FE0500-2018-02-2020, and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, grant number 120099-03.

Acknowledgments: This research was supported by the National Institute of Forest Science, grant number FE0500-2018-02-2020, and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, grant number 120099-03.

Atmosphere **2021**, *12*, 170. <https://doi.org/10.3390/atmos12020170>

한국농림기상학회지, 제23권 제1호(2021) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 23, No. 1, (2021), pp. 68-81
DOI: 10.5532/KJAFM.2021.23.1.68
© Author(s) 2021. CC Attribution 3.0 License.

DNDC 지역별 구동을 위한 입력자료 생성 도구 개발

현신우¹, 황우성¹, 유희진, 김광수^{1,2*}

¹서울대학교 식물생산과학부, ²서울대학교 농업생명과학연구원
(2021년 1월 8일 접수; 2021년 2월 23일 수정; 2021년 2월 26일 수락)

Development of an Input File Preparation Tool for Offline Coupling of DNDC and DSSAT Models

Shinwoo Hyun¹, Woosung Hwang¹, Heejin You¹, Kwang Soo Kim^{1,2*}

¹Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul, Korea

²Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received January 8, 2021; Revised February 23, 2021; Accepted February 26, 2021)

ABSTRACT

The agricultural ecosystem is one of the major sources of greenhouse gas (GHG) emissions. In order to search for climate change adaptation options which mitigate GHG emissions while maintaining crop yield, it is advantageous to integrate multiple models at a high spatial resolution. The objective of this study was to develop a tool to support integrated assessment of climate change impact by coupling the DSSAT model and the DNDC model. DNDC Regional Input File Tool(DRIFT) was developed to prepare input data for the regional mode of DNDC model using input data and output data of the DSSAT model. In a case study, GHG emissions under the climate change conditions were simulated using the input data prepared by the DRIFT. The time to prepare the input data was increased by increasing the number of grid points. Most of the process took a relatively short time, while it took most of the time to convert the daily flood depth data of the DSSAT model to the flood period of the DNDC model. Still, processing a large amount of data would require a long time, which could be reduced by parallelizing some calculation processes. Expanding the DRIFT to other models would help reduce the time required to prepare input data for the models.

Key words: Greenhouse gas, Crop growth, Gridded simulation, Model coupling, Object-oriented programming

감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원 농촌현안
해결 리빙랩 프로젝트사업(120099-03)의 지원으로 수
행되었습니다.



* Corresponding Author: Kwang Soo Kim



기계학습을 활용한 오리사 바닥재 수분 발생량 분석

Estimation of Duck House Litter Evaporation Rate Using Machine Learning

김다인* · 이인복¹⁾ · 여욱현²⁾ · 이상연³⁾ · 박세준⁴⁾ · 크리스티나⁵⁾ · 김준규⁶⁾ · 최영배⁷⁾ · 조정화⁸⁾ · 정효혁⁹⁾ · 강승희¹⁰⁾
Kim, Dain · Lee, In-bok · Yeo, Uk-hyeon · Lee, Sang-yeon · Park, Sejun · CRISTINA DECANO · Kim, Jun-gyu ·
Choi, Young-bae · Cho, Jeong-hwa · Jeong, Hyo-hyeog · Kang, Seolmee

ABSTRACT

Duck industry had a rapid growth in recent year. Nevertheless, researches to improve duck house environment are still not sufficient enough. Moisture generation of duck house litter is an important factor because it may cause severe illness and low productivity. However, the measuring process is difficult because it could be disturbed with animal excrement and other factors. Therefore, it has to be calculated according to the environmental data around the duck house litter. To cut through all these procedures, we built several machine learning regression model forecasting moisture generation of litter by measured environment data (air temperature, relative humidity, wind velocity and water contents). 5 models (Multi Linear Regression, k-Nearest Neighbor, Support Vector Regression, Random Forest and Deep Neural Network) have been selected for regression. By using R-Square, RMSE and MAE as evaluation metrics, the best accurate model was estimated according to the variables for each machine learning model. In addition, to address the small amount of data acquired through lab experiments, bootstrapping method, a technique utilized in statistics, was used. As a result, the most accurate model selected was Random Forest, with parameters of n-estimator 200 by bootstrapping the original data nine times.

Keywords: Duck house, litter, machine learning, regression model, water generation

1. 서론

국내 축산업 총생산액은 지난 54년간 연평균 12.2% 증가하여, 2019년 기준 19조 7,819억 원으로 농업 총생산액의 37.9%를 차지하고 있다 (Statistics Korea, 2020). 그중 오리 산업은 2000년대 중반 오리고기 영양학적 효능이 알려지면서 생산과 소비가 늘어나 2020년 오리 사육 가구는 566가구, 천

제 마릿수는 929만 마리로 연간 약 1조 원의 생산액을 기록하고 있다. 하지만 이후 주기적으로 발생하는 AI (Artificial Intelligence, 인공지능)에 따른 수급 불균형과 가격 하락 등의 불황을 겪으며 추락세를 보이게 되었다. 또한, 오리 육사는 방역에 취약하고 시설의 단열, 보온 등이 열악한 비닐하우스형이 76.3%를 차지하여 생육 환경을 개선하기 위한 연구가 필요한 실정이다 (Korean duck society, 2019).

국내 오리사 관련 연구는 오리사 바닥 형태와 난방 방법에 따른 오리의 생산성 및 사육환경에 관한 연구 (Bang et al., 2010; Bang et al., 2013), CFD를 이용한 오리사 표준 설계도 초안에 대한 환기 분석 (Yeo et al., 2015; Kim et al., 2017), 사육 밀도에 따른 생산성 및 균일도 평가 (Hong et al., 2019), 오리사 바닥재 주변 공기의 기상조건에 따른 바닥재 수분 증발량 분석 (Lee et al., 2019), 기계환기식 오리사 온습도 환경 분석을 위한 동적 에너지 모델개발 (Lee et al., 2020), ICT 기술을 위한 오리사 바닥 깔짚 살포 자동화 장치 개발 (Kwon et al., 2021) 등으로, 축산 규모와 비교하면 연구의 진행 속도가 매우 더딘 편이다.

이 글은 이상환의 풍속, 습도, 온도(1) 바닥재 수분 발생

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음 (12009-03).

* Undergraduate Student, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
¹⁾ Full professor, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
²⁾ Research assistant professor, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
³⁾ Researcher assistant professor, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
⁴⁾ Ph.D. Student, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
⁵⁾ M.S. Student, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
Corresponding author

Received: October 07, 2021
Revised: October 29, 2021
Accepted: November 08, 2021



수리·수문설계시스템 및 비율보정계수 기법을 활용한 농업용 저수지의 홍수기 운영기준 평가

Evaluation of Agricultural Reservoirs Operation Guideline Using K-HAS and Ratio Correction Factor during Flood Season

정형모^a · 이상현^b · 김경환^c · 광영철^d · 최은혁^e · 윤성은^f · 나라^g · 주통혁^h · 유승환^{i,*} · 윤광식^j
Jung, Hyoung-mo · Lee, Sang-hyun · Kim, Kyoung-hwan · Kwak, Yeong-cheol · Choi, Eunhyuk · Yoon, Sung-eun ·
Na, Ra · Joo, Donghyuk · Yoo, Seung-hwan · Yoon, Gwang-sik

ABSTRACT

Despite the practical limitations of calculating the amount of inflow and supply related to the operation of agricultural reservoir, the role of agricultural reservoir is gradually being emphasized. In particular, as interest in disaster safety has increased, the demand for preliminary measures to prepare for disasters has been rising. For instance, pre-discharging agricultural reservoirs for flood control. The aim of this study is to analyze the plans for the flood season reservoir operation considering pre-discharge period and water level limit. Accordingly, we optimized the simulation of daily storage using the ratio correction factor (RCFs) and analyzed the amount of inflow and supply using K-HAS. In addition we developed the drought determination coefficient (k) as an indicator of water availability and applied it for supplementing the risk level criteria in the Drought Crisis Response Manual. The results showed that it would be difficult to set the water level limit during the flood period in the situation of little water supply for flood control in agricultural reservoirs. Therefore, it is necessary to operate the reservoir management regulations after measures such as securing additional storage water are established in the future.

Keywords: Water availability; flood control; optimization; reservoir operation regulations

- ^a Manager, Agricultural Infrastructure Project Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)
- ^b Assistant Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University
- ^c Manager, Jecheon Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)
- ^d Deputy Director, Large-scale Land Reclamation Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)
- ^e Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation (KRC)
- ^f Director, Jeonbuk Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)
- ^g Ph.D. Student, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University
- ^h MS Student, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University
- ⁱ Associate Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University
- ^j Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering & BK21 Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University

*Corresponding author
Tel: +82-62-530-5182, Fax: +82-62-530-2159
E-mail: yoonh15@jnu.ac.kr

Received: May 20, 2021
Revised: May 28, 2021
Accepted: July 07, 2021

1. 서론

우리나라는 지난 30년간 인구증가, 도시화, 경제성장 등으로 인해 물 이용량(생활·공업·농업용수)이 약 392% 증가했고, 특히 농업용수는 전체 용수 이용량의 61%를 차지하고 있으며 50년 전과 비교하여 약 3배 이상 증가(45억m³→152억 m³)한 것을 볼 수 있다(MOLIT, 2016). 가뭄의 빈도나 강도는 점차 증가하고 농업용수의 관계용수 공급 목적 외 사용량은 지속해서 증가하고 있다. 기후변화와 농업경제 변화 등의 영향으로 농업용저수지의 관리를 위해서는 모니터링과 과학적 의사결정 등에 근거한 운영이 필요하지만 현실에서는 경험적 관리에 의한 운영이 대부분 시행되어왔다. 국내 농업용저수지 17,147개소 중 한국농어촌공사 관리 3,400개소 저수지와 일부 시·군 관리 저수지만 저수율을 계속하고 있다. 특히 공사관리 저수지 3,400개소 중 계속하고 있는 저수지는 1,781개소이다(KRC, 2020). 또한 저수지 관리에서 아주 중요한 요소인 유입량과 공급량은 계속이 아닌 추정치로 관리하는 것이 대부분이다.

국내 대부분의 농업용저수지 상류 유역은 미계측 유역으로 저수지 유입량 추정 시 수정 3단 Tank 모형을 이용하여 추정 존재한다(Kim and Park, 1988; 양 연구에는 농업용수 수요량과

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음 (120094-03).

농공학회는 2021년 제48, 2021 · 97

Article

A High-Resolution (20 m) Simulation of Nighttime Low Temperature Inducing Agricultural Crop Damage with the WRF-LES Modeling System

Ilseok Noh ^{1,2}, Seung-Jae Lee ^{1,*}, Seoyeon Lee ¹, Sun-Jae Kim ³ and Sung-Don Yang ³

¹ National Center for AgroMeteorology (NCAM), Seoul 08026, Korea; ilseoknoh@ncam.kr (I.N.);
² Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems (KIAPS), Seoul 07507, Korea
³ Pohang Iron and Steel Co. Engineering and Construction (POSCO E&C), Ltd., Pohang 37963, Korea; 141303@poscoec.com (S.-J.K.); ysdon@poscoec.com (S.-D.Y.)
 * Correspondence: sjlee@ncam.kr



Citation: Noh, I.; Lee, S.-J.; Lee, S.; Kim, S.-J.; Yang, S.-D. A High-Resolution (20 m) Simulation of Nighttime Low Temperature Inducing Agricultural Crop Damage with the WRF-LES Modeling System. *Atmosphere* **2021**, *12*, 1562. <https://doi.org/10.3390/atmos12121562>

Academic Editor: Gianni Bellodi

Received: 23 October 2021
 Accepted: 26 November 2021
 Published: 26 November 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: In Korea, sudden cold weather in spring occurs repeatedly every year and causes severe damage to field crops and fruit trees. Detailed forecasting of the daily minimum or suddenly decreasing temperature, closely related to the local topography, has been required in the farmer community. High-resolution temperature models based on empirical formulas or statistical downscaling have fundamental limitations, making it difficult to perform biophysical application and mechanism explanation on small-scale complex terrains. Weather Research and Forecasting–Large Eddy Simulation (WRF-LES) can provide a dynamically and physically scientific tool to be easily applied for farm-scale numerical weather predictions. However, it has been applied mainly for urban areas and in convective boundary layer studies until now. In this study, 20 m resolution WRF-LES simulation of nighttime near-surface temperature and wind was performed for two cold spring weather events that induced significant crop damages in the apple production area and the results were verified with automatic weather station observation data. The study showed that the maximum mean bias of temperature was -1.75 °C and the minimum was -0.68 °C in the spring, while the root mean square error varied between 2.13 and 3.00 °C. The minimum temperature and its duration significantly affected the crop damage, and the WRF-LES could accurately simulate both features. This implies that the application of WRF-LES, with proper nest-domain configuration and harmonized physical options, to the prediction of nighttime frost in rural areas has promising feasibility for orchard- or farm-scale frost prevention and low-temperature management.

Keywords: spring frost; farm-scale modeling; WRF-LES; minimum temperature; rural area

1. Introduction

Warm weather in spring has a critical influence on plant growth [1]. Fruit trees come out of their winter slumber and enter the bud break stage, which strongly weakens their cold resistance [2,3]. However, if the air temperature abruptly decreases during late spring season, the fertilization methods, such as farms, are costly and time-consuming or prediction information

In East Asia, cold air type [6,7]. As cold air pool in vegetated areas

Funding: This work was funded by the Development of Production Techniques on User-Customized Weather Information, Grant number KMA2018-00622, and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, Grant Number 120099-03.

Acknowledgments: We acknowledge the critical comments from the anonymous reviewers and the editor. We are grateful to Yang and Nongmin News Corp. for permission to use the photos. This work was supported by the Development of Production Techniques on User-Customized Weather Information, Grant number KMA2018-00622, and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, Grant Number 120099-03.

신기후체제에서 국가 기후위기 대응 방향에 관한 제언

Suggestion on the National Climate Crisis Response Policy in the New Climate Regime

Jai Ho Oh

CEO, Emeri, Prof. Nano C&W Co. Ltd.
#782 Daewangpangyo-ro 815, Dujeong-gu, Seongnam-si, Gyonggi-do, Korea

Abstract

On December 12, 2015, the Paris Agreement, a new climate change regime was adopted to maintain the global average temperature rise at a level significantly lower than 2°C compared to pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the global average temperature rise to 1.5°C or less. By this agreement, each country is obliged to submit its Intended Nationally Determined Contributions (INDC), an increase in reduction targets every five years. Korea will also disclose its implementation plan to reduce the 2030 National Greenhouse Gas Reduction Goal (DNC) to 40% of actual emissions in 2018 to the international community at the 26th United Nations Framework Convention on Climate Change (COP26). A balanced policy between mitigation and adaptation is necessary to overcome not only to match the international requirement but also to provide a strategy to survive in the warming world as mentioned to the importance of not only reducing greenhouse gas emissions but also adapting to climate change. In the year 2022, there is an election for a new presidency in Korea. It is a time to raise issues on the governmental response to the climate crisis to consider an adaptation policy for surviving the changing global environment by accepting the unavoidable global warming.

Key words: climate change, mitigation, adaptation, climate policy

1. 서론

2015년 12월 12일 기존 기후변화체제였던 교토의정서(Kyoto Protocol)를 대체하는 신기후변화체제인 ‘파리 협정 (Paris Agreement)’이 채택되었다(Paris agreement, 2015). 이 파리 협정의 주요 내용은 산업화 이전과 대비하여 지구 평균기온 상승을 2°C보다 상당히 낮은 수준으로 유지하는 것으로 하고, 지구 평균기온 상승을 1.5°C 이내로 제한 하기 위한 노력을 추구한다는 목표를 제시하고 있다. 이를 위해, 각 국가는 기여방안(Intended Nationally Determined Contributions, INDC)을 매 5년 상향된 감축 목표를 제출하도록 하고 있다. 우리나라도 2030 국가온실가스 감축 목표(DNC)를 2018년 실제 배출량의 40%로 감축한다는 이행계획을 제26차 유엔 기후변화 협약 당사국 총회 (COP26)에서 제출할 예정이다.

감사의 말

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌 한안해결 리빙랩프로젝트 사업의 지원을 받아 연구되었음(120099-03)

Article

Monthly Agricultural Reservoir Storage Forecasting Using Machine Learning

Soo-Jin Kim ¹, Seung-Jong Bae ^{2*}, Seung-Jae Lee ² and Min-Won Jang ^{3,4*}

¹ Institutes of Green Bio Science and Technology, Seoul National University, Pyeongchang-gun 25394, Korea
² National Center for Agro-Meteorology (NCAM), Seoul 08626, Korea
³ Department of Agricultural Engineering, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
⁴ Correspondence

Abstract: Storage rate forecasting for the agricultural reservoir is helpful for preemptive responses to disasters such as agricultural drought and planning so as to maintain a stable agricultural water supply. In this study, SVM, RF, and ANN machine learning algorithms were tested to forecast the monthly storage rate of agricultural reservoirs. The storage rate observed over 30 years (1991–2021) was set as a label, and nine datasets for a one- to three-month storage rate forecast were constructed using precipitation and evapotranspiration as features. In all, 70% of the total data was used for training and validation, and the remaining 30% was used as a test. The one-month storage rate forecasting showed that all SVM, RF, and ANN algorithms were highly reliable, with R^2 values ≥ 0.8 . As a result of the storage rate forecast for two and three months, the ANN and SVM algorithms showed relatively reasonable explanatory power with an average R^2 of 0.64 to 0.69, but the RF algorithm showed a large generalization error. The results of comparing the learning time showed that the learning speed was the fastest in the order of SVM, RF, and ANN algorithms in all of the one to three months. Overall, the learning performance of SVM and ANN algorithms was better than RF. The SVM algorithm is the most credible, with the lowest error rates and the shortest training time. The results of this study are expected to provide the scientific information necessary for the decision-making regarding on-site water managers, which is expected to be possible through the connection with weather forecast data.

Keywords: agricultural reservoir; machine learning; reservoir storage forecasting; SVM

Citation: Kim, S.-J.; Bae, S.-J.; Lee, S.-J.; Jang, M.-W. Monthly Agricultural Reservoir Storage Forecasting Using Machine Learning. *Atmosphere* **2022**, *13*, 1807. <https://doi.org/10.3390/atmos13111807>

Academic Editor: Vijay P. Singh

Received: 12 October 2022

Accepted: 10 November 2022

Published: 11 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Water is a critical input for agricultural production, and it plays an important role in human survival [1–3]. Agricultural irrigation constitutes almost 70% of global water consumption [2,4–6]. The global water consumption rate increased by six times over the past 100 years; currently, it increases by 1% each year owing to rapid changes such as population increase, economic growth, and consumption patterns [7]. Water accessibility has become increasingly uncertain in many regions across the world affected by climate change and water scarcity; this is expected to intensify competition among water users [7–9].

Funding: This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Living Lab Project for Rural Issues Project, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (120099-03).

Furthermore, the water loss from these reservoirs has increased and become concerning (85.6% (14,644 reservoirs) of total agricultural reservoirs) because 50



강제 환기식 육계사 내부 열환경 균일성 평가

Internal Thermal Environment Uniformity Analysis of Mechanically Ventilated Broiler House

김다인^a · 이인복^b · 이상연^c · 박세준^d · 김준규^e · 조정화^f · 정효혁^g · 강솔희^h · 정득영ⁱ
Kim Da-in · Lee In-bok · Lee Sang-yeon · Park Sejun · Kim Jun-gyu · Cho Jeong-hwa · Jeong Hyo-hyeog ·
Kang Sol-hui · Jeong Deuk-young

ABSTRACT

Livestock industry in Korea has been growing rapidly and has reached 23 trillion Korean won in 2021. This study focuses on broiler, which is one of the largest sectors in livestock industry. As the effects of climate change get more serious, primary industry such as livestock industry is fragile to climate change since it directly interacts with nature. Therefore, maintaining suitable rearing environment is important. One of the most frequently used ventilation type for controlling the rearing environment of broiler house, tunnel ventilation, causes frequent air velocity fluctuation which makes maintaining the rearing environment important. By measuring the air temperature, relative humidity and air velocity in various points inside the broiler house, the internal thermal environment uniformity was analyzed according to length, width and zone. The experimental house was found to have dead zone with high air temperature, relative humidity and low air velocity near the end of the inlet and at the end of the broiler house. By using heat stress index to analyze quantitatively, zone with highest heat stress index was found to increase by 7.55% compared to the lowest zone. As a result, to maintain uniform rearing environment inside the broiler house, different factors must be measured and analyzed and used to operate the environmental control facilities.

Keywords: Air temperature; air velocity; heat stress index; relative humidity; tunnel ventilation

1. 서론

2021년 기준 국내 축산업 생산액은 22조 9,660억원으로, 전체 농업 생산액 중 42.2%를 차지하고, 육류 소비 증가와 가격 상승으로 2031년까지 연평균 1.1% 증가할 것으로 전망된다. 그 중 육계 산업은 2조 5,300억원으로, 육계 생산액은 증장기적으로 2021년부터 연평균 2.3%가 증가하여 2031년에

는 3조 1,880억원에 도달할 것으로 전망하고 있다 (Korea rural economic institute, 2022). 육계 산업의 규모가 확대되면서 농가에서는 단위 면적당 사육 마릿수가 증가하였다. 사육 밀도가 증가하면 단위 면적당 육계에서 발생하는 현열·잠열 양도 증가하여 내부 온·습도가 증가하게 된다. 고온기에 내부 고온다습한 공기를 제때 배출하지 못할 경우 폐사로 이어질 위험이 커지기 때문에 더욱 내부 사육 환경을 관리할 필요가 있다.

1988년 기후변화에 대응하기 위한 국제적 대책을 마련하기 위해 설립된 기구인 IPCC (Intergovernmental Panels on Climate Change)에서 발간한 제 6차 기후변화 평가 보고서에 따르면, 최근 10년 (2011~2020) 지구의 평균 온도는 산업혁명 이전과 비교하여 1.09 °C 증가하였고, 2014년 이후 지표면 온도가 빠르게 상승하여 지난 5년간 (2016~2020) 기온은

^a MS Student, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
^b Full Professor, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
^c Research Assistant Professor, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
^d PhD Student, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
^e MS Student, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University
^f Senior Researcher, Institute for Information and Communications Technology Planning and Evaluation
† Corresponding author

Received: August 16, 2022
Revised: October 05, 2022
Accepted: October 06, 2022

감사의 글
본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안 해결 리빙랩 프로젝트의 지원을 받아 연구되었음 (120099-03).

시설에서 이루어지므로 기후변화의 직접적인 영향을 받게 된

Article

A Case Study of Bias Correction and the Dynamical Downscaling of CFSv2 S2S Forecasts Using a WRF Model: Heatwave in 2018 over South Korea

Jiwon Oh , Jaeho Oh * and Morang Huh

Nano Weather Co., Ltd., Seomnam 13449, Republic of Korea
* Correspondence

Abstract: Extreme weather events caused by climate change affect the growth of crops, requiring reliable weather forecasts. In order to provide day-to-season seamless forecasting data for the agricultural sector, improving the forecasting performance of the S2S period is necessary. A number of studies have been conducted to improve prediction performance based on the bias correction of systematic errors in GCM or by producing high-resolution data via dynamic detailing. In this study, a daily simple mean bias correction technique is applied on CFSv2 (~100 km) data. We then use case studies to evaluate how beneficial the precision of the high-resolution RCM simulation is in improving S2S prediction performance using the bias-corrected lateral boundary. Based on our examination of 45-day sequences of WRF simulations with 27–9–3 km resolution, it can be concluded that a higher resolution is correlated with better prediction in the case of the extreme heatwave in Korea in 2018. However, the effect of bias correction in improving predictive performances is not significant, suggesting that further studies on more cases are necessary to obtain more solid conclusions in the future.

Keywords: S2S; climate model downscaling; bias correction; high resolution; heatwaves



Citation: Oh, J.; Oh, J.; Huh, M. A Case Study of Bias Correction and the Dynamical Downscaling of CFSv2 S2S Forecasts Using a WRF Model: Heatwave in 2018 over South Korea. *Atmosphere* **2022**, *13*, 2086. <https://doi.org/10.3390/atmos13122086>

Academic Editors: Seung-Jae Lee and Ji-Sun Kang

Received: 31 October 2022
Accepted: 7 December 2022
Published: 13 December 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Over the last decades, extreme weather events such as heatwaves and droughts that impact the growth of crops have increased, and are expected to continue to increase [1–3]. In this respect, weather and climate forecast information is important for the agricultural sector to inform agricultural practices, planning, and projects, ensure reliable crop yields, and aid in managing the stability of the food crop market [4–5]. A sub-seasonal to seasonal (S2S) forecast range (more than 2 weeks and less than a season) is particularly useful for end users in the agricultural application sector, and is useful for managing water resources, energy, unexpected disasters, etc., in order to respond quickly to weather-related hazards; thus, the demand for seamless forecasts is continually growing [6,7]. Kim et al. [8] have verified that machine learning algorithms for storage rate forecasting using 30 years of weather station data are sufficiently applicable, and the management of water is possible with highly reliable meteorological data.

At the S2S time range, however, the prediction skill decreases because of the effect of the initial atmospheric conditions being progressively reduced; moreover, the influence

Funding: This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) via the Living Lab Project for Rural Issues, funded by the Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (120099-03).

produced by operational centers, helping the research community to better understand and advance S2S forecasting [6]. The NCEP (National Centers for Environmental Prediction) has developed a climate forecasting system (CFS), the first quasi-global and fully coupled



Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



GLUEOS: A high performance computing system based on the orchestration of containers for the GLUE parameter calibration of a crop growth model

Shinwoo Hyun^a, Jin Yu Park^b, Junhwan Kim^c, David H. Fleisher^d, Kwang Soo Kim^{a,b,h,*}

^a Department of Agriculture, Forestry and Biosciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
^b Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
^c Department of Food Crops, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju-si, Jeollabuk-do Republic of Korea
^d Adaptive Cropping Systems Laboratory, United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service, Beltsville, MD, USA

ARTICLE INFO

Keywords:
 Cloud computing
 Global optimization
 Kubernetes
 Phenology
 Raspberry pi

ABSTRACT

The cultivar parameters of crop growth models are typically estimated through calibration procedures based on a global optimization method such as Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE). A system that supports parallel processing would accelerate the calibration of cultivar parameters using GLUE, which requires a large amount of computation. In the present study, a framework for a distributed computing system was proposed to aid calibration of model parameters, which was referred to as Generalized Likelihood Uncertainty Estimation Orchestration System (GLUEOS). GLUEOS was designed to manage multiple containers in a distributed computing system and to provide a simple web-based interface. In a case study, the cultivar parameters of the CERES-Rice model were calibrated for a rice cultivar Shindongjin using GLUEOS. The calibration procedures were repeated 100 times to take into account the uncertainties of parameter estimates. The elapsed wall time for the parameter calibration process was compared between two computing systems including low end single board (LESB) and high end desktop (HEDT) computers. It was found that GLUEOS completed with less wall time for HEDT than LESB. However, the absolute time difference between these systems was considerably small on average, e.g., 22 s, when 32 containers were used for a single round of calibration procedure. The computing efficiency of GLUEOS was affected by the configurations for the containers, e.g., the number of containers per node. The mean value of calibrated parameter sets resulted in reliable estimate of heading dates for both calibration and validation datasets. These results suggested that GLUEOS would allow for calibration of cultivar parameters with less wall time for computation and minimum expertise required for distributed computing. Utilizing GLUEOS with other crop models would facilitate a wider range of studies for any research that requires parameter calibration.

1. Introduction

Process-based crop models have been used to predict crop yield under diverse sets of environmental and management conditions. These models can provide a better understanding of the biophysical response of a crop, which facilitates identification of management options to improve crop productivity (Dhwang et al., 2017; Roberts et al., 2017; Wang et al., 2017; Jeulfray et al., 2018). For example, Sackinjo et al. (2020) analyzed the effects of maize management strategies for

adaptation to climate change using the CERES-Maize model within the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Jing et al. (2021) compared potential wheat yield under water management options in a semiarid region using three wheat models included in DSSAT. Breeding programs can also be supported using crop models that predict the response of cultivars to a wide range of soil and weather conditions without field experiments (Blumirez-Vilagas et al., 2020). Parameters are used as inputs to crop models to characterize the responses of crop species and cultivar (Li et al., 2018). The species

Acknowledgement


This research was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through 'Living Lab Project for Rural Issues', funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA) grant number 120099-03.

Abbreviations: ASOS, Automated Synoptic Observing; GLUE, Generalized Likelihood Uncertainty Estimation; G, Korean Meteorological Administration; LESB, Low End Uniform Resource Locator; YAMI, YAMI Ain's Markup
 * Corresponding author at: Department of Agriculture.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106906>
 Received 19 October 2021; Received in revised form 21 Available online 5 April 2022
 0168-1699/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

관측 및 재분석 자료를 이용한 식생 형태별 가뭄 모니터링

이서연, 이순재*, 장근영*, 권영하*
*한국과학기술원 (KIST) 국립산림과학원 (Korea Forestry Research Institute)




1. 시론

가뭄
수분학적으로 심각한 불균형을 유발할 수 있음 정도로 **비정상으로 112만 헥타**
→ **생식, 번식, 생장 등 식물 생장과 깊은 영향을 미침**



남한 국토의 약 80%가 산림
→ **식물 생태에 따른 가뭄을 파악하는 것이 사회적으로 중요**

가뭄은 관측, 기온, 풍사, 토양 등 다양한 환경에 의해 발생
→ **관측 및 재분석 자료를 비교하여 분석**

2. 연구목적

- 고해상도 관측 자료의 부족
- 재분석 자료를 기반으로 남한 가뭄을 모니터링에 어려움 존재
- 식생 형태별 가뭄에 관한 연구는 미약한 지시 정보

재분석 자료 이용
기후학적
가뭄 지수 개발

SPR, SDI, CDI, MCDI, RAI, DRI를 사용

관측 자료를 기반
이동형, 불완전 자료
기후학적

남한 지역 생태학적
재분석 자료 가뭄 지수
정확도 평가


식생 군락에 따른
남한 가뭄의
사공간 분포
변동 분석

3. 자료 및 방법

재분석 자료 (ERA5, GPM, 위성, 기후, 토양)

종류	ERA5	GPM	위성	기후	토양	종류
종류	0.25 x 0.25	0.25 x 0.25	0.25 x 0.25	0.25 x 0.25	0.25 x 0.25	0.25 x 0.25
Period	1980.01 - 2020.01	2000.01 - 2020.01	2000.01 - 2020.01	1980.01 - 2020.01	2000.01 - 2020.01	2000.01 - 2020.01
Vegetation Type	0	0 (signature)	0	0	0	0

관측 자료

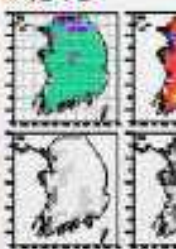


50개 지역 자료 (1000~10000 헥타)
남한 지역 (ERA5, GPM, 위성, 기후, 토양)

가뭄 지수

종류	종류	종류
SPR	SDI	CDI
MCDI	RAI	DRI

식생 구분



가뭄 사례

국가자연정보포털, 수문가뭄정보포털시스템, 기상 및 보고서를 이용하여
가뭄 사례 (일별, 지역별, 연월) 수집 및 검증 자료로 사용

4. 결과 및 고찰

최근 20년 (2000 - 2020년)의 평균 가뭄 지수



2014년, 2020년 남한 가뭄 발생
재분석 자료를 기반으로 한
가뭄 지수인데 두 사례를 비교할
필요 없음

ERA5 재분석 자료의 정확도 높음

ERA5 25개 지역과 위성 ERA5 grid에서의 일간 가뭄 지수의 Correlation 및 RMSE



ERA5와 위성 25개 지역은 0.55 이상의 상관관계를 보임 (R²는 0.3 이상)
ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수의 RMSE가 높게 나타남

		SPR	SDI	CDI	SDI	MCDI	RAI	DRI
ERA5	HR	24.7%	18.0%	24.3%	24.0%	1.7%	24.2%	20.4%
	HR	6.4%	7.3%	17.0%	11.0%	14.0%	23.6%	7.7%
ERA5	HR	23.0%	14.0%	21.2%	20.0%	1.7%	24.1%	24.0%
	HR	12.1%	6.8%	18.2%	10.4%	11.2%	25.9%	10.2%

ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수와 위성 25개 지역의 가뭄 지수 간의 상관관계가 높음
ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수의 RMSE가 높게 나타남

ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수와 위성 25개 지역의 가뭄 지수 간의 상관관계가 높음
ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수의 RMSE가 높게 나타남

Summary

- ERA5 가뭄 지수 (SPR, SDI)는 관측 자료와 높은 상관관계를 보임 (R²는 0.3 이상)
- ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수와 위성 25개 지역의 가뭄 지수 간의 상관관계가 높음
- ERA5와 위성 25개 지역은 ERA5의 가뭄 지수의 RMSE가 높게 나타남

차후 연구 계획

- 관측 자료의 정확도 향상을 위한 연구 추진 (남한)
- 기후 변화 및 토양 수분 등 자료의 기후 변화에 따른 분석
- 관측 자료의 정확도 향상을 위한 연구 추진 (남한)

5. 감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 (KIST) 국립산림과학원 (Korea Forestry Research Institute)에서 수행되었으며, 국립산림과학원 (KIST) 국립산림과학원 (Korea Forestry Research Institute)에서 수행되었습니다.

본 연구는 국립산림과학원 (KIST) 국립산림과학원 (Korea Forestry Research Institute)에서 수행되었으며, 국립산림과학원 (KIST) 국립산림과학원 (Korea Forestry Research Institute)에서 수행되었습니다.

고온스트레스 분석 모델 개발을 위한 가금 사육 시설 바닥재의 수분 발생량 정량화 연구

Assessment of Evaporation Rates from Litter of Poultry Houses

이상연*, 이인복**, 김준규***

Sang-yeon Lee, In-bok Lee, Jun-gyu Kim

요 지

기후변화의 영향으로 국내 여름철 폭염일수는 최근 들어 점차 증가하고 있는 추세이며, 육산 농가에서는 폭염으로 인한 폐사율이 증가하고 있다. 2016년 폭염일이 연속적으로 발생하여 하절기 한 달 동안 닭 3,345 천마리, 오리 113 천마리 등이 폐사했으며, 추정보행금 기준으로 110 억 원의 재산피해가 발생하였다 (농림축산식품부, 2016). 특히 가금류의 고온스트레스를 분석하고 대응하기 위해서는 가금 사육시설 내부 온도의 정확한 예측이 요구된다. 사육시설 내부 온도의 정확한 예측을 위해서는 의기와 사육시설의 열교환, 환기에 따른 열교환, 바닥재의 수분 발생에 따른 잠열 등이 고려되어야 한다. 하지만 바닥재의 수분발생량의 정량적 평가가 필수적임에도 불구하고 국내외 모두 가금 사육시설의 바닥재에서 발생하는 수분량을 정량적으로 평가한 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 랩실실험을 통해 가금 사육시설 바닥재의 수분증발량을 측정하고, 최종적으로 통계분석을 통해 바닥재 주변 온습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속 조건에 따른 바닥재의 수분발생량 산정식을 도출하고자 하였다. 이를 위해 가금 사육시설 중 하나인 오리사에서 샘플링한 바닥재를 대상으로 챔버 실험을 진행하였다. 바닥재에서 발생하는 수분량을 측정하기 위해 실험 챔버를 직접 제작하였으며, 온습도 조건이 통제된 형온형습조 내부에 실험 챔버를 배치하고 실험을 수행하였다. 실험 전후 바닥재의 무게 변화량을 통해 수분 발생량을 측정하였다. 바닥재의 수분발생량 산정식을 도출하기 위해 측정 데이터를 이용하여 다중선형회귀 분석을 수행하였다. 다중선형회귀 분석 시, 정확도 향상을 위해 증반과 직접적인 관련이 있는 수증기 분압을 고려하였다. 주변기온, 상대습도, 부분수증기압, 바닥재의 함수비, 주변 풍속에 대한 분산평정지수를 산정하며, 각 변수들 간 독립성을 검증하였다. 회귀 모델의 multiple R2 와 adjusted R2 값이 0.76과 0.71로 산정되었다. 따라서 본 연구에서 개발된 회귀식은 가금 사육시설의 내부 온도 예측을 위한 수치모델에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 다중회귀분석, 바닥재, 수분발생량, 챔버실험, 가금 사육시설

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획위원회의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음(120099-03)

* 정희원 · 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정
 ** 정희원 · 서울대학교 지역시스템공학과 교수
 *** 정희원 · 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정

E-mail :
 E-mail :
 E-mail :

재분식 자료를 이용한 한반도 식생 형태별 가뭄 모니터링

이서연¹, 이승재¹, 장근창², 친정화²

¹(재)국가농림기상센터

²국립산림과학원

가뭄이란 수문학적으로 심각한 불균형을 유발할 수 있을 정도로 비정상적으로 건조한 상태로 정의되며, 산업, 경제, 환경, 인간의 삶 등 사회 전반에 많은 영향을 미친다. 한반도의 약 70% 이상 (남한 국토의 약 63%)은 산림으로 이루어져 있고, 따라서 산림 형태별 가뭄을 파악하는 것이 사회적으로 중요한 문제라 할 수 있다. 가뭄의 정도와 원인을 살펴볼 때는 강수를 비롯한 기온, 일사, 토양 내 수분함량 등 다양한 관점을 고려해야 한다. 기존 연구에서는 고해상도의 재분식 자료의 부재로 재분식 자료를 기반으로 한반도의 가뭄을 진단하는 데 어려움이 있었고, 나아가 식생 형태별 가뭄에 관한 연구는 이루어지지 못했다. 따라서 본 연구에서는 기상학적 가뭄을 나타내는 여러 지수를 재분식 자료를 이용하여 산출하고, 남한에서의 가뭄 지수 정확도를 기상청, 산림과학원의 관측 자료를 바탕으로 평가하여, 한반도 전역으로 넓히 식생 구분에 따른 가뭄을 다양한 변수와 함께 살펴보고자 한다. 재분식 자료로는 0.25°×0.25°의 고해상도를 가지는 ERA5를 사용하였고, 국가 가뭄 정보 포털, 수문 기상 가뭄 정보 시스템, 기사 및 보고서에서 제공하는 1979년-현재까지 한반도 내에서 일어난 주요 가뭄 사례들을 수집하여 검증 자료로 사용하였다. 최근 10년간의 연간 가뭄지수 해미 결과에 따르면, 재분식 자료 기반 가뭄지수들이 2013년과 2017년 가뭄 사례를 비교적 잘 포착하며, 특히 SPI, RAI 지수가 이를 잘 모의하는 것을 확인할 수 있었다. 월간 가뭄지수의 경우 가뭄 사례와 비교한 결과 RAI, EDI가 잘 모의하였다. 이를 바탕으로 가뭄지수를 고려한 한반도 전역의 식생 형태별 가뭄을 SPI, EDI, RAI 지수 및 다양한 인자의 상관관계 분석을 통하여 41년간 한반도 가뭄의 변동성을 분석하여, 관측과 모의 자료 기반의 고해상도 산림 가뭄 모니터링에 활용하고자 한다.

Key words: 산림 가뭄, 식생 형태, 가뭄지수, ERA5

※ 본 연구는 산림과학원 “Establishment of foundation for impact-based forecasting in the mountainous area and development of customized service system of orographic weather data” (Project No. FB0300-2018-02-2000) 와 농업식용기술기획평가원의 농촌 현안 해결 리빙랩 프로젝트사업 (120000-03) 의 지원으로 수행되었습니다.

고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축

신철은¹, 이승재², 이인복³, 김광수³, 조세필⁴, 오제호⁵, 허모량⁶, 유재홍⁶

¹국가농림기상센터

²서울대학교 지리시스템공학과

³서울대학교 식물생산과학부

⁴유역통합관리연구원

⁵나노웨디

⁶에스이랩

다중규모 고해상도 예측 자료 생산 및 이해당사자 참여를 통한 영향예보 체계 구축과 폭염 및 가뭄에 대한 선제적 대응을 위한 리빙랩 기반 서비스 개발을 위해 진행 중인 연구 과제를 소개하고자한다. 이 과제를 통해 기상·기후 실시간 예측자료 생산 체계와 가축 고온스트레스 예·경보 시스템을 구축하여 농작물 가뭄피해 저감을 위한 기상예보 기반 스마트폰 의사결정 지원시스템, 농업가뭄 확산 및 수요예측 모델, 리빙랩 방식 농업용수 관리 모델 개발을 지원하여 궁극적으로 농촌 현장문제 해결을 위한 수요자 참여기반 웹 서비스 체계를 구축할 계획이다. 이러한 통합적 시스템을 지구 온난화에 따라 증가하는 불확실성을 정량적으로 추정하여 안정적 작물 생산계획과 하절기 고온스트레스로 인한 가축폐사량 감소 방안 제시를 위한 기상정보를 제공하고, 작물 생산성 전망 자료를 활용한 객관적인 물관리 방안 도출 및 수자원 활용 최적화를 통해 기후변화에 취약한 농촌 지역의 현장 맞춤형 정보를 제공하여 심각해지는 폭염과 가뭄과 같은 기상이변에 대한 대응 역량 강화를 목표로 한다.

Key words: 리빙랩, 가뭄, 폭염, 농업용수, 기상예측

※ 이 연구는 농림식품기술기획평가원의 농촌안전해결 리빙랩 프로젝트사업(12000-03)의 지원으로 수행되었습니다.

Drought Monitoring based on Vegetation Types using Observations and Reanalysis Data

Seoyeon Lee¹, Seung-Jae Lee¹, Keunchang Jang², and Jung-Hwa Chun²

¹National Center for Agro Meteorology,

²National Institute of Forest Science, Korea Forest Service

A drought is a period of abnormally dry weather lasting long enough to cause a serious hydrological imbalance, which can have a major impact on society in terms of economics, environment, and human life. Forests cover 63% of South Korea and identifying the effects of droughts on different forms of vegetation is therefore an important issue for society. In addition, the severity and causes of droughts need to be examined from various perspectives, including precipitation, temperature, solar radiation, and water content of the soil. There have been difficulties in diagnosing droughts in South Korea using reanalysis data due to its low resolution. In addition, there has been a lack of research on the relationship of droughts to vegetation forms. Therefore, this study utilizes reanalysis data to derive various indexes that represent meteorological drought, such as the standardized precipitation index (SPI), effective drought index (EDI), China-Z index (CZI), modified CZI (MCZI), rainfall anomaly index (RAI), Delices (RD), and Z-Score Index (ZSI), and evaluates their accuracy in the South Korea based on observation data acquired from the Korea Meteorological Administration and the National Institute of Forest Science. Furthermore, this research aims to examine changes in the spatio-temporal distribution of drought indexes based on vegetation classification. From the reanalysis data, an examination was made of the major cases of drought that occurred from 1979 to the present in the South Korea using ERA5 (latest climate reanalysis produced by ECMWF), which has a high resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. According to the preliminary results based on the last 10 years, it was discovered that the drought indexes that were calculated using the reanalysis data represented droughts in 2013 and 2017 relatively well, and it was shown that the SPI and RAI indexes captured these cases with high accuracy. The most appropriate drought index for the Korean forest areas was identified based on this. In addition, the spatio-temporal variability of droughts in the South Korea over 41 years was analyzed using various factor analysis and correlation analysis methods, for their use in high-resolution forest drought monitoring based on observations and modeling.

This research was supported by the National Institute of Forest Science, grant number FE0500-2018-02-2020, and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, grant number 120099-03.

한반도 식생형태별 농림가뭄 변동성 및 모니터링

이서연, 이승재
(재)국가농림기상센터

지표면 식생은 그 마다의 생태계 기능 역할을 하고 있으며 그 역할에 대한 정보를 관측 및 모델링을 통해서 수집하여야 물의 순환을 올바르게 이해하고 예측할 수 있다 (Lee et al., 2013). 이 연구에서는 지난 42년 (1979년~2020년) 동안 한반도 내 식생형태별 가뭄 발생 양상에 관한 연구를 진행하였다. 가뭄은 산업, 경제, 환경, 인간의 삶 등 사회 전반에 많은 영향을 미치는 현상으로서, 특히 한반도의 약 70% (남한 국토의 약 63%)가 산림지역을 이루고 있기에 식생 형태별 가뭄 정도를 파악하고, 가뭄에 대비하는 것은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. Lee et al. (2021)은 한반도 내에서 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 고해상도 ERA5 재분석 자료를 이용한 식생별 가뭄 진단과 모니터링의 적정성 및 타당성을 보였다. 이에 따라 지난 42년간의 한반도 내의 가뭄의 원인과 강도를 ERA5 재분석 자료를 기반으로 한반도 내에서 비교적 정확하게 가뭄을 진단하는 RAI와 함께 강수, 기온, 일사, 토양수분함량 등 다양한 기후 인자들을 고려하여 살펴보았다. 일반적으로 가뭄은 높은 기온, 많은 일사량, 낮은 풍속에 수반하여 나타난다. 한편, 키 낮은 식생이 주로 분포하는 지역에서는 첫 번째와 두 번째 토양층 (-28 ~ 0cm)의 토양수분함량이 가뭄과 밀접하고 민감하게 반응하고 있었다. 따라서 키 낮은 식생이 분포하는 지역(농업 지역)에서는 표층 근처의 강수량 및 증발산량의 모니터링 빈도를 높여야 한다. 한편, 키 큰 식생이 많이 분포하는 지역(산림지역)의 경우에는 가뭄이 발생하고 한 달 후에 세 번째 토양층 (-100 ~ -28cm)에서 큰 영향을 받는 것을 확인하였다. 이를 통하여 산림지역의 강수량과 증발산량의 변화 추이를 모니터링 하면 한 달 후 발생한 산림 가뭄에 미리 대비할 수 있다는 결론을 얻었다. 더 나아가 지난 40여 년간 한반도에서의 식생형태별 가뭄이 변동성을 살펴보기 위하여 십 년 주기의 가뭄빈도 및 강도를 살펴본 결과 특별한 경향성은 보이지 않았지만 2000년대 이후 강도 높은 가뭄의 빈도수가 증가하였다. 이러한 정보를 바탕으로 가뭄에 대비한 정확한 가뭄 예·경보 시스템의 도입과 가뭄 해감을 위한 적정 용수의 확보와 관리가 농림기상 분야에서 계속해서 고도화되어야 할 것이다.

※ 사사: 이 연구는 농업식품기술기획평가원의 농촌 현안 해결 리빙랩 프로젝트사업 (120060-03)의 지원으로 수행되었습니다.

Heat stress analysis of broiler through model development using BES

Jeong-hwa Cho, Uk-hyeon Yeo, Sang-yeon Lee, Jun-gyu Kim, Se-jun Park, Cristina Decano, Young-bae Choi, Hyo-hyeog Jeong, Rack-woo Kim and In-bok Lee
Department of Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Gwanakno 1, Gwanakgu, Seoul, 08826, Republic of Korea

KEYWORDS *Building Energy Simulation, Broiler house, Heat stress*

As meat consumption increases, the proportion of livestock industry to total agricultural production is increasing every year. Broiler production accounted for 11.5% of the livestock production in 2018. However, the breeding environment of broiler is gradually deteriorating due to heatwaves caused by recent global warming and high density of breeding. Also, broilers have difficulty regulating their body temperature, as they have high metabolic heat generation and few sweat glands. Thus, broilers are vulnerable to high summer temperatures. And tunnel ventilation is a typical method used in domestic broiler houses to effectively relieve heat stress in summer. The tunnel can directly transmit high wind speed to the broilers inside the house too. However, heat stress was not evaluated under various broiler growth conditions and livestock ventilation conditions. The purpose of this study is to validate and develop an energy model to quantitatively evaluate the heat stress of livestock using building energy simulation. In a mechanically ventilated broiler house, external weather and internal microclimate data were measured at various points, and model validation was performed using this data. The conditions for the simulation included the livestock age, breeding density, the thermal insulation of the wall, ventilation of the livestock, and the presence of a cooling pad. The results of the heat stress evaluation were derived and analyzed through the temperature humidity index. As a result, it was possible to reduce the damage to livestock because of climate change, by preventing mortality due to the heat stress of the broilers inside the house.

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry(IPET) through Living Lab Project for Rural Issues, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(120099-03)

ORAL 06

양파와 마늘의 사전 수량 예측에 따른 불확도 분석

현신우¹, 김광수^{1,2*}

¹서울대학교 농림생물자원학부, ²서울대학교 농업생명과학연구원

Analysis of uncertainties in prediction of onion and garlic yield

Shinwoo Hyun¹, Kwang Soo Kim^{1,2*}

¹Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University,

²Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

양파와 마늘은 작황에 따라 가격의 변동이 크게 발생하는 작물로, 가격 변동에 따른 생산자와 소비자의 피해를 줄이기 위해 안정적인 수급 대책을 수립하는 것이 중요하다. 이를 지원하기 위해 생산성을 사전에 예측할 수 있는 생물리학적 작물모형을 사용할 수 있으나, 일반적으로 많은 양의 입력자료가 요구된다. 본 연구에서는 입력자료 요구도를 최소화한 SIMPLE 모형을 활용하여 양파와 마늘의 생산성을 모의하고, 생산성을 사전 예측함에 따라 발생하는 불확도를 분석하고자 하였다. 예측 시점 이후의 생육을 예측하기 위해 미래 기상자료 대신 과거 4년간의 기상자료를 활용하였으며, 예측 시점 이전까지는 해당 년도의 관측 기상자료를 사용하였다. 과거 기상자료를 활용할 경우, 실제 관측 기상자료만을 사용하여 모의된 생구중에 대한 시계열적 변이의 89% 이상을 설명할 수 있었다. 그러나, 최종 생육 관측 시점에서 관측 생구중과 모의 생구중의 차이는 모수의 신뢰도에 따라 작게는 5%에서 크게는 60% 이상 차이가 발생하였다. 지속적인 고품질의 생육자료 수집을 통해 신뢰도 높은 모수가 추정된다면, 과거자료를 활용하여 양파와 마늘의 생구중을 사전에 예측할 수 있다는 것을 시사하였다. 또한, 생구중 모의값의 신뢰도를 높이기 위해 비파괴적으로 수집되는 관측자료를 작물 생육 모의에 활용할 수 있도록 하는 자료동화 기술이 개발되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림식품기술기획평가원 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트 사업(120099-03)의 지원으로 수행되었음

* Correspondence to :

동적에너지 모델을 이용한 육계 고온스트레스 예보 시스템 개발

Development of Forecasting System for Broiler Heat Stress using Dynamic Energy Simulation

조정화*, 이인복**, 크리스티나 데카노***, 이민형****, 김다인*****,
Jeong-hwa Cho, In-bok Lee, Cristina Decano, Min-hyung Lee, Da-in Kim

요 지

육류 소비가 증가하면서 전체 농업 생산액에서 축산업의 비중은 매년 증가하고 있다. 2018년 축산물 생산량의 11.5 % 를 육계가 차지했다. 그러나 최근 지구온난화에 따른 폭염 일수 증가와 높은 사육밀도 환경으로 인해 육계사 내부 환경이 점차 악화되고 있다. 또한, 닭은 생물학적 구조상 신진대사 열 발생이 높고 땀샘이 거의 없기 때문에 체온 조절에 특히나 어려움을 겪는 축종으로, 육계는 여름철 고온에 더욱 취약하다. 그리고 여름철 열 스트레스를 효과적으로 해소하기 위해 육계에서 사용되는 대표적인 환기방법으로 터널환기를 한다. 터널환기는 계사 내에 있는 육계에게도 높은 풍속을 전달하여 실제 닭이 느끼는 유효온도를 더욱 낮추는 역할을 한다. 고온스트레스란 가축이 항상성을 유지할 수 없는 열 부하의 결과로, 실험을 통한 회귀식으로 통해 축종별 지수로 나타낸 연구들이 있었다. 현재 계사 내 유속까지 고려하여 고온스트레스 지수를 평가한 연구는 없었으며, 실험을 통한 모델 검증 또한 없었다. 그리고 다양한 육계의 사육 밀령 및 계사 환기 제어 등의 다양한 조건에서 고온스트레스가 평가되지 않았었다.

따라서 본 연구의 목표는 동적 에너지 시뮬레이션을 사용하여 가축의 고온스트레스를 정량적으로 평가하기 위한 에너지 모델을 검증하고 개발하는 것이다. 강제환기식 육계사에서 외부 기상과 계사 내부의 공기 온도, 상대습도, 유속 등 공기환경 데이터를 여러 지점에서 측정하였고, 터널 배기팬의 계사 내외부 정압차와 환기량을 측정하였다. 현장에서 측정한 데이터를 사용하여 개발한 동적 에너지모델의 신뢰도를 판단하기 위해 통계적 지표를 활용하여 모델 검증에 활용하였다. 검증된 모델을 이용하여 사용자에게 농가 위치, 육계의 연령 및 사육 밀도, 계사 단열계 및 환기팬, 플링페드의 유무 등의 정보를 입력 받아 예보 시점으로부터 2일 이후까지 육계의 고온스트레스를 연산하고 예보하는 시스템을 개발하였다. 이와 같은 예경보 시스템은 사용자가 선제적으로 대응하여 기후 변화로 인한 육계사 내부의 고온으로 발생하는 폐사를 줄이는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강제환기식 육계사, 고온스트레스 지수, 동적에너지 시뮬레이션

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음(120999-03).

- * 조 정 화 - 서울대학교 지역시스템공학부 박사과정 - E-mail : jhcho@kari.ac.kr
- ** 이 인 복 - 서울대학교 지역시스템공학부 교수 - E-mail : inboklee@kari.ac.kr
- *** 크리스티나 데카노 - 서울대학교 지역시스템공학부 박사과정 - E-mail : cdecano@kari.ac.kr
- **** 이 민 형 - 서울대학교 지역시스템공학부 박사과정 - E-mail : minhyunglee@kari.ac.kr
- ***** 김 다 인 - 서울대학교 지역시스템공학부 석사과정 - E-mail : dainkim@kari.ac.kr

머신러닝 기법을 활용한 농업용수 논물수지 분석기술

A Study on paddy water balance analysis technology using Machine Learning

김수진*, 배승중*, 장민원*

*서울대학교 그린바이오과학기술연구원 - **경상대학교 지역시스템공학과

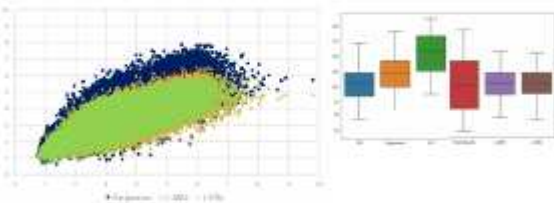
필요성 및 목적

- 농업부문 물관리는 정확한 필요수량(irrigation requirement) 파악이 선행되어야 함
- 작물 필요수량을 결정하는 실제증발산량은 농업용수 및 수자원 관리의 모든 분야에서 예외없이 적용되고 있음(Jang, 2020). 실제증발산량 산정을 위한 기준증발산량(ETo)은 alfalfa, grass 등 기준작물의 잠재증발산량이며, FAO Penman-Monteith, FAO Hargreaves, FAO Blaney-Cridde 등의 방법으로 계산되고 있음. 작물계수의 경우, 국내에서는 기존 연구(농업진흥공사, 1990; 서울대학교 농업개발연구소, 1996; 농어촌진흥공사, 1997)에서 제시한 FAO Penman, FAO Modified Penman 기준의 작물계수를 사용하고 있음
- 본 연구에서는 센서 기반 현장 물수지 관측망 모델을 구축하고, 물수지 해석을 위한 머신러닝(Machine Learning, ML) 기술을 활용한 증발산량 및 논용수량 산정을 통해 미래 스마트 관개 시스템 구현을 위한 기초를 마련하고자 함

ML기반 증발산량 산정

- 물수지 항목 중 소비수량 결정을 위한 증발산량 산정에 있어서 머신러닝 기법의 적용성을 시험하고자 함. 기상현황(기온, 풍속, 상대습도, 일조시간/일조량) 제한에 따른 기준증발산량 산정방법을 시험하고 기존 전통적인 모델과 비교하여 적용성 검토함
- 전국 63개 ASOS 과거 기상자료(1981~2021년)를 이용하여 기존 FAO Penman-Monteith에 의한 기준증발산량(label)과 온도만을 이용한 Hargreaves과 Thornthwaite식의 값과 비교함
 - Train set : 1981~2016 (4월~10월)
 - Test set : 2017~2021 (4월~10월)
 - 5 fold cross validation
 - 선형회귀(경사하강법) 활용, (penalty : l1, epoch : 1,000(early stop), learning rate : 0.001(adaptive))

Method	Year	RMSE					MAE	R2	MAPE	Bias
		Penman-Monteith	Hargreaves	Thornthwaite	ML	ML				
Hargreaves	1981	492.8	483.2	483.2	483.2	483.2	0.7	0.7	0.0	
	2017	321.8	247.9	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
	2018	401.8	251.7	251.7	251.7	251.7	0.8	0.8	0.0	
	2019	398.8	251.7	251.7	251.7	251.7	0.8	0.8	0.0	
	2020	388.8	251.7	251.7	251.7	251.7	0.8	0.8	0.0	
ML	2017	314.4	248.8	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
	2018	316.1	251.7	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
	2019	318.9	251.7	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
	2020	318.9	251.7	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
	2021	318.9	251.7	251.7	251.7	251.7	0.7	0.7	0.0	
Thornthwaite	1981	308.8	308.8	308.8	308.8	308.8	0.8	0.8	0.0	
	2017	303.8	303.8	303.8	303.8	303.8	0.8	0.8	0.0	
	2018	303.8	303.8	303.8	303.8	303.8	0.8	0.8	0.0	
	2019	303.8	303.8	303.8	303.8	303.8	0.8	0.8	0.0	
	2020	303.8	303.8	303.8	303.8	303.8	0.8	0.8	0.0	



- 머신러닝 모델(feature: 기온, 대기권밖 일사량(우도)) 적용성을 시험한 결과, 기존 모델인 Hargreaves와 Thornthwaite식에 비해 머신러닝 기법을 적용하여 산정하는 것이 효과적인 것으로 나타남
- 기온과 대기권밖 일사량(우도)자료만 활용할 경우에는 지역별 편차가 크게 나타났지만, 무계축지역이나 결속지역에서 머신러닝 기법에 의한 증발산량 산정이 대안이 될 수 있을 것으로 판단됨

요약 및 결론

- 현장계측자료의 확보에 따른 학습자료의 구축에 따라 학습 시나리오의 다양한 접근을 통해 데이터셋 구성, 학습 파라미터의 조정, 학습모델의 최적, 성능 평가 등을 수행할 수 있는 일련의 모듈들을 조합하여 사용자 라이브러리를 구성하였고, 이로부터 학습모델의 고도화와 신뢰성 제고 연구를 효율성 있게 지속할 수 있는 체계를 마련함
- 센서 기반의 불관리 관측체계와 ML 기술 시험은 스마트물관리(smart water management) 체계 구축을 위한 현장기반 기술 개발과 고도화의 일반성 연구로 의미가 있으며, 기상예측 기술과 연계할 경우엔 가능한 물수지의 변화를 예측하고 적절한 관계계회 수립에도 활용될 수 있을 것으로 기대됨

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음(120099-03)

ML기반 논물수지 분석

- 센서 기반 포장단위 물수지(는) 해석 모델 구성
 - 종관기상관측(ASOS)자료를 사용하는 기존 방법과 달리 센서 기반의 현장 맞춤 물수지 해석과 물관리를 위한 물수지식(강우량, 강수량(증발산량+침투량), 관개량, 배수량 등) 해석 기준 정립
 - 유입만자는 관개량(PI)과 강우량(PI), 유출만자는 소비수량(CU)과 배수량(OR)만 반영
 - 소비수량은 강수량으로 대신, 순별 식물계수(Kc10days)는 10일단위 실제증발산량과 기준증발산량의 비로써 산출
 - 단일의 강수량(PI)은 전일의 강수량(PI-1)과 당일의 유입만자(+), 유출만자(-)의 합으로 산정, 침투량은 포화조건에서 포화침투계 시험으로 조사한 값을 연중 고정하여 적용

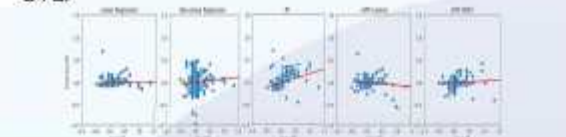
■ 물수지 해석을 위한 머신러닝 알고리즘 시험 환경 구축

- Anaconda와 Tensorflow 2.0 (Python 3.9) 기반 머신러닝 알고리즘 적용 시험을 위한 환경구축과 시험결과와 전-후처리(시각화)와 품질 평가 도구 구현
- 주요 머신러닝 알고리즘 적용을 위한 모듈 구현: tensorflow, scikit-learn 라이브러리를 활용한 Linear Regression(LR), Polynomial Regression(PR), k-Nearest Neighbors(kNN), Artificial Neural Network(ANN) 등 머신러닝 알고리즘 구현



■ 센서 기반 포장단위 물수지(는) 해석 모델 구성

- 물수지 항목 중 강수량(PI) 결정을 위한 머신러닝 적용성 검토를 위해 당일 기상조건과 관개량으로부터 강수량을 예측한 결과, RF모델이 RMSE 0.17mm, MAE 0.081mm로 양호하게 분석됨(feature: 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 관개량, label: 강수량)



머신러닝 기법을 활용한 농업용 저수지 저수율 예측 Forecasting Agricultural Reservoir Storage Rate Based on Machine Learning

김수진*, 배승종**, 장민원***

Soo-Jin Kim, Seung-Jong Bae, Min-Won Jang

요 지

농업용 저수지의 수량관리는 농업용수의 효율적인 관리 측면에서 가장 중요한 요소이다. 이에 한국농어촌공사에서는 공사관리 저수지 3,421개소 중 1,781개소에 계측기를 설치하여 10분단위 계측 저수율 자료를 실시간으로 제공하고 있다. 농업용 저수지의 효율적인 용수공급을 위해서는 미래에 대한 정확한 예측을 기반으로 운영해야 하나 아직까지는 과거 운영 경험에 의한 관행적 물관리 방법으로 관리되고 있다. 저수율은 저수지의 유입량과 방류량에 따른 물수지 분석을 통해 추정하여 모의 예측하고 있으나, 실제 값 사이에 많은 차이가 있어 농업용수의 정량적인 관리에 어려움이 따른다.

본 연구에서는 머신러닝(Machine Learning, ML) 기술을 활용하여 관행적 물관리 방법에서 나타나는 기상자료(강수량, 증발산량)와 저수율 사이의 회귀분석을 통해 저수율을 예측할 수 있는지 시도하였다. 이를 위해 전라북도 지역의 공사관리 저수지를 대상으로 1991년부터 2021년까지 관측된 저수율, 종관기상관측소(ASOS) 자료를 수집하고, 개별 저수지별로 피쳐(feature)와 레이블(label)을 구성하여 적정 머신러닝 알고리즘을 시험하였다. 주요 머신러닝 알고리즘인 서포트벡터머신(Support Vector Machine, SVM), 랜덤 포레스트(Random Forest, RF), 인공신경망 모형(Artificial Neural Network, ANN) 등을 활용하여 1개월~3개월 최지/평균 저수율을 예측하였다. 향후 미래 기후변화 시나리오를 활용한다면, 농업용 저수지의 저수율 변화 예측을 통해 안정적인 농업용수 공급을 위한 의사결정 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 머신러닝, 저수율, 농업용저수지, SVM, RF, ANN

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 연구되었음(120099-03).

* 정희원 · 서울대학교 그린바이오과학기술연구원 책임연구원 ·

** 정희원 · 서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수 ·

*** 정희원 · 경상국립대학교 지역시스템공학과 교수 ·

극한 폭염 상황에서 농업분야를 위한 고해상도 S2S 자료의 가치

오지원¹, 오계호^{1*}, 허모량¹

¹(유)나노웨더

The Value of High-Resolution S2S data for Agricultural Sector in Extreme Heatwave Events

Jiwon Oh¹, Jaiho Oh^{1*}, Morang Huh¹

¹Nano Weather Ltd., Seong-nam

Over the last decades, the extreme weather events, such as heatwaves and droughts which impacts on crop growing, increased and will go on. Especially sub-seasonal to seasonal forecast range (more than 2 weeks but less than a season) is useful to end-users in the agricultural application sector to response early in weather-related hazards, so the demand for reliable S2S forecasts are increasing. In this study, dynamical downscaling has been applied to the CFSv2(Climate Forecast System) operational 45-day forecast data, which has a spatial resolution with approximately 100 km, and how precise high-resolution RCM(Regional Climate Model) simulation was beneficial in improving S2S prediction performance has been evaluated through case studies. Sequences of WRF(Weather Research and Forecasting) simulations with 27-9-3 km resolution have been conducted for the extreme heatwave cases in Korea in 2018, and it has been carried out that the higher the resolution, the better the prediction. However, RCM with downscaling still has a limitation to represent the observed heatwaves, and it may be suggested that further studies on more cases are necessary for solid conclusions in the future.

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Living Lab Project for Rural Issues, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (120099-03).

* Correspondence to :



SIMPLE 모델을 이용한 이탈리아 라이그라스 및 사료용 벼 품종 모수추정

조영삼¹, 김광수^{1,5}

¹ 서울대학교 식물생산과학부 ² 서울대학교 농업생명과학연구원

INTRODUCTION

- 육류 소비증가로 인한 고품질의 사료작물에 대한 수요가 증가하고 있음
- 이탈리아 라이그라스는 수량성, 사료가치, 가축의 기호성이 높은 사료작물임
- 내한성이 높고 습해에 강하기 때문에 벼를 재배한 이후의 논에서 연계된 작부체계 활성화 필요함
- 이탈리아 라이그라스의 생육 모의를 위한 품종모수에 대한 추정이 이루어지지 않음

OBJECTIVES

- 사료용 벼 품종과 이탈리아 라이그라스의 품종모수 추정
- SIMPLE 작물모형 구동값과 관측수량과의 비교를 통한 품종모수 평가

MATERIALS AND METHODS

SIMPLE 작물모형

biomass and yield estimation

$$Biomass_{sim} = Radiation \times fSolar \times RUE \times f(CO_2) \times f(Temp) \times min(f(Nut), f(Water))$$

$$Biomass_{sim} = Biomass_{sim} + Biomass_{resid} + Biomass_{root}$$

$$Yield = Biomass_{sim} \times HI$$

fraction of intercepted solar radiation

$$fSolar = \frac{1 - \exp(-k \times LAI)}{1 + \exp(-k \times LAI)}$$

leaf growth period

$$f(Temp) = \begin{cases} 0 & T < T_{min} \\ \frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} & T_{min} \leq T < T_{opt} \\ 1 & T \geq T_{max} \end{cases}$$

heat stress factor

$$f(heat) = \begin{cases} 1 & T_{min} \leq T \leq T_{opt} \\ 1 - \frac{T - T_{opt}}{T_{max} - T_{opt}} & T_{opt} < T \leq T_{max} \\ 0 & T > T_{max} \end{cases}$$

cumulative temperature for phenological development

$$\Delta TT = \int_0^t \frac{T - T_{min}}{T - T_{min}} dt$$

$$TT_{cum} = TT + \Delta TT$$

biomass growth rate

$$f(Temp) = \begin{cases} 0 & T < T_{min} \\ \frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} & T_{min} \leq T < T_{opt} \\ 1 & T \geq T_{max} \end{cases}$$

CO2 factor

$$f(CO_2) = \begin{cases} 1 + \frac{T_{CO_2} \times (CO_2 - 380ppm)}{1 + T_{CO_2} \times 130} & 380ppm \leq CO_2 < 700ppm \\ 1 & CO_2 > 700ppm \end{cases}$$

Water stress factor

$$f(Water) = 1 - S_{max} \times ABSD$$

품종모수 추정

- 품종
 - ✓ 벼 '그린팜' '중우(수원605호)' '육우(519호)' '영우(수원573호)'
 - ✓ 이탈리아 라이그라스
- 기상자료
 - ✓ 2016-2019년도의 기상청 제공 일일 기상자료
- 포장
 - ✓ 중부 평야지 (수원, 37°27'N, 126°99'E, 해발 34 m)
- 기본 품종 모수
 - ✓ Moot et al.(2000)이 제시한 초본생물의 base temperature, thermal time requirements이용
- Qeso library를 이용한 calibration으로 각 품종에 대한 품종모수 산출
 - ✓ 벼와 이탈리아라이그라스 이모작 수량 데이터 이용(안연근 외, 2019)
 - ✓ 8개의 chain, 각 chain 길이 50000

작물모형 구동

- 품종모수를 이용하여 같은 조건 내 SIMPLE 작물모형 구동
- 품종모수를 통한 수량 추정값에 대한 NRSME, 상관관계 분석 시행

RESULTS

Table 1. Cultivar parameter value of Rice(Jowoo, Mogwoo, Yeongwoo) and IRG (Greenfarm)

Cultivar parameter	Jowoo	Mogwoo	Yeongwoo	Greenfarm
base_temperature	9	9	8	8
life_expectancy	2950.00	2417.27	2294.23	1518.51
optimum_temperature	19.75	18.4	18.36	15.24
reference_RUE	1.84	2.12	2.21	1.83
HI	1	1	1	1
HI_sil	1	1	1	1
vegetation_phase_start	523.53	565.43	582.02	940.05
reproductive_phase_start	1770.88	1892.73	1884.49	890.57
phase_reduction_by_hot_drought	-21.8	22.94	26.83	69.75
phase_reduction_by_cold_drought	-4.23	3.85	-4.99	67.75
maximum_temperature	33.36	33.4	32.58	25.83
extreme_temperature	44.98	47.16	44.57	31.8
death_temperature	-7.63	-7.97	-7.62	-7.63
phase_reduction_by_cold_drought	18.92	53.25	62.54	51.89

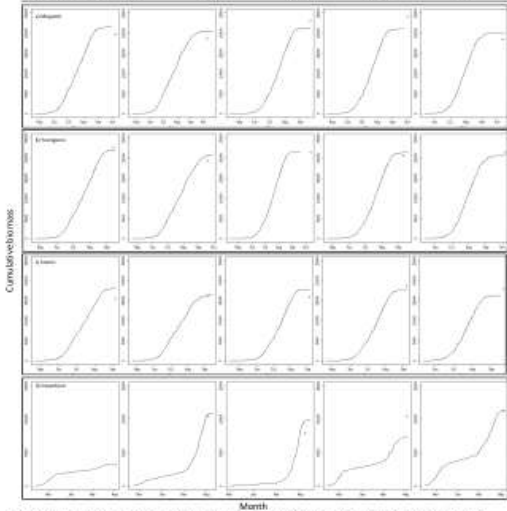


Fig1. Yield estimates of Rice and IRG cultivars including Mogwoo, Yeongwoo, Jowoo, Greenfarm

- 조건성에 따른 벼 품종간 특징이 품종모수에서 확인할 수 있음
- 이탈리아 라이그라스가 벼보다 열과 수분 스트레스에 대한 영향이 큰 것으로 나타남
- NRSME 최소값 '영우'(0.03594) 최대값 '그린팜'(0.1849)로 상대적으로 벼의 품종모수 추정이 잘 이루어짐
- 추정된 모수의 상관관계 분석 결과 그린팜의 경우에는 높은 상관계수($R^2=0.7312$), 벼의 경우에는 낮은 상관계수($R^2<0.6$)를 보임

DISCUSSION

- SIMPLE 작물모형의 간단함은 오차를 불러올 여지가 있음. 실험 데이터 축적을 통한 품종모수에 대한 추가연구가 필요함
- 이탈리아 라이그라스의 품종모수 추정을 통해 수량의 감소를 선제적으로 인식하여 품종 개량과 재배법 개선 등의 연구가 가능할 것이라 판단됨

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 농림식품기술기획평가원 농촌혁신해결 리빙랩 프로젝트 사업(120099-03)의 지원으로 수행되었음

REFERENCES

• Zhao, C., Liu, B., Xiao, L., Hoogenboom, G., Bock, K., Kassie, B., ... & Akinjide, S. (2019). A SIMPLE crop model. *European Journal of Agronomy*, 104, 97-106

• Moot, D., Scott, W., Roy, A., & Nicholls, A. (2000). Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(1)

• Eok-Keun Ahn, Eun-Gi Jeong, Hyang-Mi Park, Kuk-Hyun Jung, Ung-Jo Hyun, Ja-Hwan K. (2019). Double cropping productivity of main whole-crop silage rice and winter feed crops in the central plains of Korea. *Korean Journal of Crop Science*, 64(4), 311-322.

(증빙 3)
특허출원

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2021.12.08
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(226)
 출원번호 10-2021-0174820 (접수번호 1-1-2021-1424066-77)
 (DAS접근코드608C)
 출원인명칭 재단법인 국가농림기상센터(1-2011-047157-6) 외 2명
 대리인성명 전중혁(9-2002-000417-2)
 발명자성명 오승준 유재홍 이민복 이승재
 발명의명칭 폭염에 의한 가축 폐사 방지를 위한 서비스 제공 장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

특허등록

특허등록원부

특 허 번 호 제 2462408 호

[권 리 란]

표시번호	등 록 사 항		
1번	출원연월일	2021년 12월 08일	출원번호 2021-0174820
	광고연월일	2022년 11월 04일	광고번호 -
	특허결정(심결)연월일	2022년 09월 20일	청구범위의 항수 8
	분류기호	G06Q 50/02, G06Q 50/1000, G01W 1/02, A01K 1/00, H04W 4/38	
	발명의 명칭	폭염에 의한 가축 폐사 방지를 위한 서비스 제공 장치	
	존속기간(예정)만료일	2041년 12월 08일	
2022년 10월 28일 등록			

[특 허 료 란]

제 01 - 03 년분 (2022.10.28 ~ 2025.10.28) 금 액 347,000 원 2022년 10월 31일 납입

[특 허 권 자 란]

순위번호	등 록 사 항		
1번	(최종권리자)	재단법인 국가농림기상센터 (114322-*****) 서울특별시 관악구 관악로 1, 서울대학교 농업생명과학대학 내 (신림동) 서울대학교산학협력단 (114371-*****) 서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동) (주)에스이랩 (110111-*****) 서울특별시 강남구 논현로150길 8 (논현동)	
1번	(등록권리자)	재단법인 국가농림기상센터(114322-*****) 서울특별시 관악구 관악로 1, 서울대학교 농업생명과학대학 내 (신림동) 서울대학교산학협력단(114371-*****) 서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동) (주)에스이랩(110111-*****) 서울특별시 강남구 논현로150길 8 (논현동)	
2022년 10월 28일 등록			



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월04일

(11) 등록번호 10-2462408

(24) 등록일자 2022년10월25일

(61) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 60/02 (2012.01) A01K 1/00 (2014.01)
G01W 1/02 (2022.01) G06Q 60/10 (2012.01)
H04W 4/38 (2018.01)

(62) CPC특허분류
G06Q 60/02 (2013.01)
A01K 1/0082 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0174820

(22) 출원일자 2021년12월08일

심사청구일자 2021년12월08일

(66) 선행기술조사문헌

JP2016100422 A*

JP6778463 B1*

KR1020200137753 A*

KR102330175 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

재단법인 국가농림기상센터

서울대학교산학협력단

(주)에스이랩

(72) 발명자

오승준

유재홍

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

권중학

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 이관우

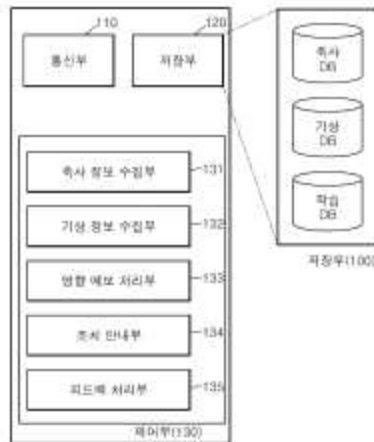
(64) 발명의 명칭 **특업에 의한 가축 폐사 방지를 위한 서비스 제공 장치**

(57) 요약

본 발명은 특업에 의한 가축 폐사 방지를 위한 서비스 제공 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세히는 기상 정보를 통해 특업 발생 확인시 가축을 사육하는 축사의 관리자로부터 수신한 축사 정보와 가축 관리 정보를 기초로 가축의 특업에 의한 폐사를 방지할 수 있는 최적의 조치 사항에 대한 조치 안내 정보를 제공함으로써 특업에 의한 가

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



제 C-2021-050694 호



저작권 등록증

- | | |
|-----------------|---|
| 1. 저작물의 제호(명칭) | 전기구지표자료동화체계(GLDAS) 자료 포맷 변환 프로그램 |
| 2. 저작물의 종류 | 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술 |
| 3. 저작자 성명(법인명) | 재단법인 국가농림기상센터 |
| 4. 생년월일(법인등록번호) | 114322-0032286 |
| 5. 창작연월일 | 2021년11월19일 |
| 6. 공표연월일 | - |
| 7. 등록연월일 | 2021년11월25일 |
| 8. 등록사항 | 저작자 : 재단법인 국가농림기상센터,
창작 : 2021.11.19 |

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 11월 26일

한국저작권위원회



제 C-2022-036251 호



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	agricultural Drought Analysis Model(농업 용수 가뭄 시스템 웹 서비스)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>산업용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 에스이랩
4. 생년월일(법인등록번호)	110111-2589046
5. 창작연월일	2022년09월14일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2022년09월21일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 에스이랩, 창작 : 2022.09.14

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2022년 09월 22일

한국저작권위원회



제 C-2022-036250 호



저작권 등록증

- | | |
|-----------------|---|
| 1. 저작물의 제호(명칭) | PoultryHeatStress Web Service(조류 고온 스트레스 영향 예보 웹 서비스) |
| 2. 저작물의 종류 | 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>산업용 S/W |
| 3. 저작자 성명(법인명) | 주식회사 에스이랩 |
| 4. 생년월일(법인등록번호) | 110111-2589046 |
| 5. 창작연월일 | 2022년09월14일 |
| 6. 공표연월일 | - |
| 7. 등록연월일 | 2022년09월21일 |
| 8. 등록사항 | 저작자 : 주식회사 에스이랩,
창작 : 2022.09.14 |

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2022년 09월 22일

한국저작권위원회



기술(노하우)이전계약서

(재)국가농림기상센터(이하 "갑"라 한다)와 ㈜에스이랩(이하 "을"라 한다)는 "갑"이 보유한 "LAMP를 이용하여 생산된 기상예측 자료의 활용"에 관한 기술을 센터의 연구책임자를 기술이전책임자로 하여 "을"에게 이전하고자 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조(목적)

본 계약은 "갑"이 "을"에게 기술이전에 필요한 제반사항을 정함을 목적으로 한다.

제2조(용어의 정의)

본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 각각 다음의 의미를 갖는다.

1. "계약기술·노하우"란 "갑"이 개발하여 보유하고 있는 "LAMP를 이용하여 생산된 기상예측 자료의 활용"관련 노하우를 총칭하는 것(특히 출원 유무와는 무관)으로서 그 구체적인 내역은 별지 1과 같다.

2. "계약제품"이라 함은 "계약기술·노하우"를 사용하여 생산되는 모든 제품(또는 장치, 설비 등)고해상도 다중공용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저

것을 말하는 것으로 다음 각 목에

가. 중간재 또는 원료를 생산, 장

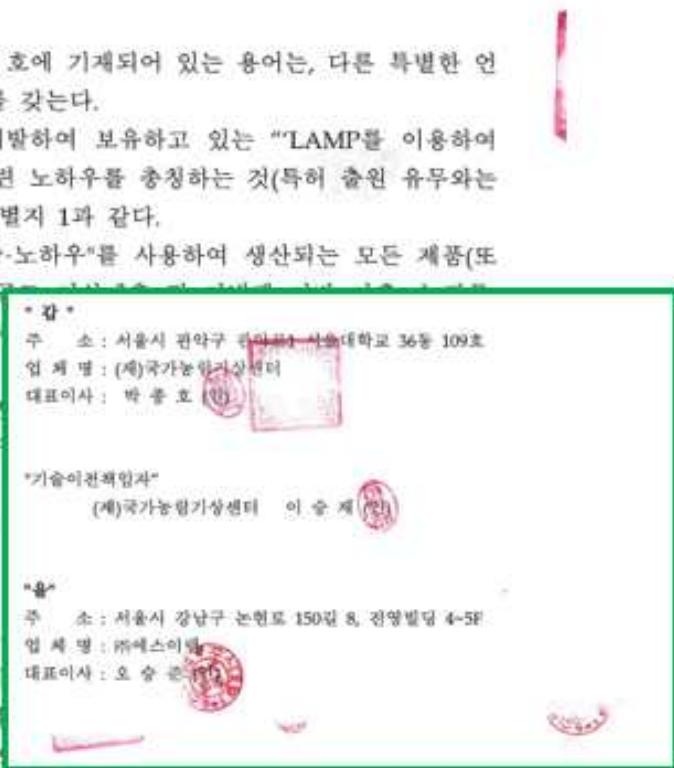
나. "계약기술·노하우"가 공정(공

하는 경우 그 공정을 사용하여 생

다. Pilot Plant에서 제조된 시제

제3조("계약기술·노하우"의 전수)

① "갑"은 계약 체결 후 1개월 이
를 통하여 "을"에게 전수하며, "가
전 수 있도록 최대한 협조해야 함
료되지 못했을 경우 "을"은 서면으
호 협의를 통해 기간을 연장할 수 있다.




기술실시 보고서

(단위 : 천원)

연구개발과제 현황	사업명	농촌현안해결 리빙랩 프로젝트사업		연구과제번호	120099-03		
	연구과제명	고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축					
	연구개발기관명	국가농림기상센터	연구책임자	이승재	참여기업명	㈜에스이랩	
	연구협약일	2020.04.29	연구기간	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31			
	연구개발비	정부지원연구개발비 2,200,000	기관부담연구개발비 695,200	기타 ()	계 2,895,200		
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	LAMP를 이용하여 생산된 기상예측 자료의 활용					
	계약(활용)일	2022.12.19	실시(활용)기간	2022.12.19. ~ 2023.12.19			
	지재권 종류	노히우	실시권 유형	전용실시			
	* 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭			일 자		
		번호					
	실시(활용)기관	기관명	㈜에스이랩		기관유형	중소기업	
		주 소			대 표 자	오승준	
사업자번호				전화번호			
부서(담당자)		유재홍		e-mail			
기술료	정액기술료		경상기술료			기타 조건	
	징수(예정)일	징수(예정)금액	착수기본료	징수(예정)일	징수(예정)금액		
	2023.02.18	5,000	매출에 따른 기술료	징수시작(예정)일	결산월		
	계	5,000		징수종료(예정)일	징수율		
				매출액의 ()%			
기타특기사항							
<p>「농림축산식품 연구개발사업 관리기준」 제35조제3항에 따라 위와 같이 기술실시 내용을 보고합니다.</p> <p>붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시). 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시). 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).</p> <p style="text-align: center;">2023 년 02 월 07 일</p> <p style="text-align: center;">연구개발기관 국가농림기상센터 의 대표 박중호</p> <p style="text-align: center;">농림식품기술기획평가원장 귀하</p>							



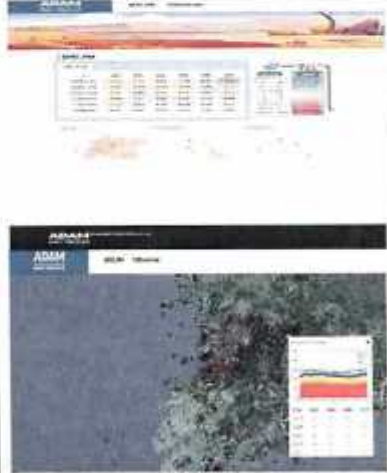
농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 제 명	고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축			
주관연구기관	(재)국가농림기상센터	참여기관	(주)에스이랩	
연구책임자	유재홍	연구기간	20년 04월 ~ 22년 12월(총 3년)	
총 정부출연금	530,000,000 원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(√)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
PHS (PoultryHeat Stress)	 <p style="text-align: center;">https://poultryheatstress.co.kr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전북지역의 양계농가에 수요자 맞춤 문자서비스를 이용한 수요자 맞춤 본인 계사 정보를 통한 폭염예보 서비스 페이지 구축 (수요자 계사 내 현재 온도 및 고온 스트레스 5단계에 대한 단계 안내 및 당일 시간별 24시간 테이블 표출 / 웹페이지 내매 오늘/내일/모래 확인) • 전북지역 양계업자를 위한 지역별 날씨 제공/ 전북지역 양계업자를 위한 가금류 가격 안내 및 축산신문사와 농수축산신문사 뉴스 기사 표출 	22.09.14	80%
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022년 10월 13일
(주)에스이랩 (서명 또는 인)



농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 제 명	고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축			
주관연구기관	(재)국가농림기상센터	참여기관	(주)에스이랩	
연구책임자	유재홍	연구기간	20년 04월 ~ 22년 12월(총 3년)	
총 정부출연금	530,000,000원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	(V)	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
ADAM (Agricultural WaterDrought)	 <p style="text-align: center;">https://adam.re.kr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 전북지역의 6개 기상관측소 데이터를 이용하여 가뭄 지수를 파악하여 가뭄의 심도를 경량화하여 직관적인 판단에 도움을 주도록 제작 • 전북지역 72개 농업용 가뭄에 취약한 농업용 저수지의 수량관리를 할 수 있도록 저수율을 예측하는 차트와 테이블로 쉽게 표시 시각화 	22.09.14	80%
<p>• 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p style="text-align: center;">상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2022년 10월 13일
 (주)에스이랩 (서명 또는 인)



교육지도 활용결과

- 교육일시: 2022년 6월 20일
- 교육장소: 경상국립대학교 지역시스템공학과 세미나실
- 교육대상: 지역시스템공학과 학부 4학년 11명 대상
- 교육내용: 중장기 예보자료를 활용한 농업가뭄 확산예측 모형 설명
농업용수 수요, 공급 모의 예측성 평가방안 설명



교육지도 활용결과

- 교육일시: 2022년 7월 6일
- 교육장소: 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 세미나실
- 교육대상: 지역·바이오시스템공학과 대학원생 7명 대상
- 교육내용: 중장기 예보자료를 활용한 농업가뭄 확산예측 모형 설명
농업용수 수요, 공급 모의 예측성 평가방안 설명
농업가뭄 예측모형 발전방향 모색



교육지도 활용결과

- 교육일시: 2022년 12월 9일
- 교육장소: 경상국립대학교 지역시스템공학과 117호 강의실
- 교육대상: 지역시스템공학과 학부 1학년 15명 대상
- 교육내용: 기후변화와 농업가뭄, 농업가뭄관리시스템 현황, 기상예측자료를 활용한 농업가뭄 예측서비스 개발, 기상예측자료를 활용한 농업용수 가뭄 예측서비스 개발, 리빙랩 기반 농업용수 사전관리 및 피해저감 방안 마련 관련 내용 설명



[미래를 개척하는 지식공공재]



산학협력단

수신 농림축산식품부장관(재해보험정책과장)

(경유)

제목 농림축산식품부 연구과제 관련 정책건의 제출(연구책임자 이인복)

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 농림축산식품부와 농림식품기술기획평가원에서 지원하고 우리 대학에서 수행하는 연구 과제 관련하여 아래와 같이 정책건의 제안을 드립니다.

□ 과제 정보

연구책임자	사업명 (연구과제명)	과제 번호	정책 건의명
이인복	농촌 원안 해결 리빙랩 프로젝트사업 (기상예보와 연계한 가축 고온 스트레스 정보 개발)	120099	건물에너지 시뮬레이션과 농림기상 예보를 이용한 광재환기식 육계사 내의 가금 고온스트레스 예보 웹서비스 시스템 도입

붙임 정책건의 제안서 1부, 끝.

서울대학교 산학협력



사원 박지남

2022. 11. 8.
간송
부장 박혜란

첨조자

시행 연구비관리실-285640 (2022. 11. 8.)

접수 ()



유역통합관리연구원

수신 수신자 참조

제목 「기상예측자료 및 머신러닝기법을 이용한 농업용 저수지 저수율 예측기법 활용」 정책 건의

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 본 연구원은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(iPET)의 농촌현안해결리빙랩프로젝트의 지원을 받아 국가농림기상센터와 서울대학교와 함께 「기상예측자료 및 머신러닝기법을 이용한 농업용 저수지 저수율 예측기법」을 개발하였습니다.
3. 농업가뭄 선제적 대응을 위해 불임과 같이 정책건의 하오니 업무에 활용하시기 바랍니다.

붙임 : 1. 정책건의자료(별송) 2부. 끝.

유역통합관리연구원장

한국농어촌공사 통합물관리추진단 박진현 단장



유역관리융합연구소 조재필

대표이사 황희경

문서번호: IWMI-2022121901

시행일자: 2022-12-19

[기후 위기]② “21세기말 겨울 사라진다…폭염 속 기후난민·식량난·물부족 일상화”

입력 2020.09.09 (13:16) 수정 2020.10.08 (16:48)

뉴스 12

1 2

가



[앵커]

<예고된 재앙 기후 변화> 연속 대담 두 번째 시간입니다. 어제는 기후변화란 무엇인지, 왜 우리에게 그렇게 심각한 문제인지 얘기를 들어봤습니다. 오늘은 기후변화가 우리의 삶과 인류의 생존에 미치는 영향을 좀 더 구체적으로 살펴보겠습니다. 어제에 이어 부경대 환경대기과학 오재호 교수 다시 모셨습니다. 교수님, 안녕하세요.

어제 “기후 위기가 이미 칼뿔고개를 넘어섰다. 위험 단계에 들어섰다”라고 말씀하시면서 이대로 방치되면 “10억 명에 이르는 난민이 발생할 수 있다” 라고 말씀하셨습니다. ‘기후 난민’이라는 게 구체적으로 어떤 사람을 의미하는 겁니까?

[답변]

기후 변화로 인해서 기존에 살던 곳에서 살지 못하고 떠나야 되는 사람들을 말합니다. 대표적으로는 투발루, 키리바시 같은 남태평양 섬나라들을 가리킵니다. 이들 나라는 산호모래로 이루어져서 제일 높은 곳이 2m가 채 안 됩니다. 해수면이 10cm만 올라가도 파도에 씻겨서 내려옵니다. 그래서 그 나라

≡ 전체

시공 (/news/articleList.html?sc_sub_section_code=S2N66&view_type=sm)

HOME (/) > [시공기원 \(/news/articleList.html?sc_section_code=S1N2?\)](#) > [시공물 \(/news/articleList.html?sc_sub_section_code=S2N58\)](#)

나노웨더, 날씨로 스마트시티에 '디테일'을 더하다

☞ 차중환 기자 | Ⓞ 승인 2021.09.01 09:57 | 💬 댓글 0



씨 위한 일기예보' 관심집중
드론·자율주행 등 안전성 극대화

철도 비틀림·포트홀 예측 모델도
"수요자 맞춤형 날씨 서비스 전격"



오재호 나노웨더 대표

[정보통신신문=차중환기자]

[스타트업이 간다] 오재호 나노웨더 대표

'날씨를 지배하는 자가 세상을 지배한다'

공상과학만화이나 나올 법한 말이 요즘엔 누구나 고개를 끄덕일 만한 명제가 됐다.

환경오염과 지구온난화 등으로 기후 예측은 갈수록 힘들어져 가고 있고, 이는 경제에 미치는 영향 또한 막대해 이제는 그 어떤 산업도 날씨와 무관할 수 없는 현실이 됐다.

날씨가 지니고 있는 고부가가치를 일찌감치 간파한 스타트업 나노웨더가 업계에 비상한 관심을 모으고 있다.

나노웨더를 이끄는 오재호 대표가 던진 화두가 사뭇 흥미롭다.

농림축산분야에 특화된 지면대기모델링 패키지 서비스

Land-Atmosphere Modeling Package(LAMP)

제품소개영상
제품사진

국가농림기상센터

20m 초고해상도 시뮬레이션

3차원 미규모 환경영향평가 - 고속도로건설 영향 분석

Target 지점 분석

▶

다음에서 보기:
도로 건설, 횡단 건설 등에 따른

국민추천 13

홈페이지
바로가기

브로셔
바로가기

공유하기

전시 제품 소개

이 패키지는 두 가지의 큰 축으로 구성되어 있다. 하나는 WRF 기상모델과 Noah-MP 지면모델의 결합시스템인 WRF/Noah-MP 시스템이고, 다른 하나는 Noah-MP 지면 모델의 오프라인 독립구동형 1차원 버전이다. WRF/Noah-MP 결합시스템은 동아시아를 포함하는 이미격자 도메인에 최고 810m의 수평 해상도를 갖는 3개의 동지격자로 구축되었으며, 가장 안쪽 도메인은 광릉 활엽수림 관측지와 침엽수림 관측지(GDK 및 GCK)를 포함한다. 정량적 검증 변수는 WRF/Noah-MP 결합시스템의 2m 기온, 10m 바람, 2m 습도, 강수이다.

기업 소개

 회사소개			
회사소개	재단법인 국가농림기상센터는 기상청, 농촌진흥청, 산림청, 서울대학교가 협력 약정을 체결하여 2009년에 설립된 공익법인으로서, 기상 데이터를 기반으로 전국의 농림업 생태계 현장에서 필요로 하는 기상 기후정보의 생산과 서비스를 위한 관측, 원격탐사, 모델링 관련 연구개발 및 전문 인력 양성을 주요 업무로 수행하고 있습니다.		
대표자명	정왕근	주소	
전화번호		팩스	
이메일		홈페이지	

유한회사나노웨더

농업 맞춤형 기상기후 정보서비스

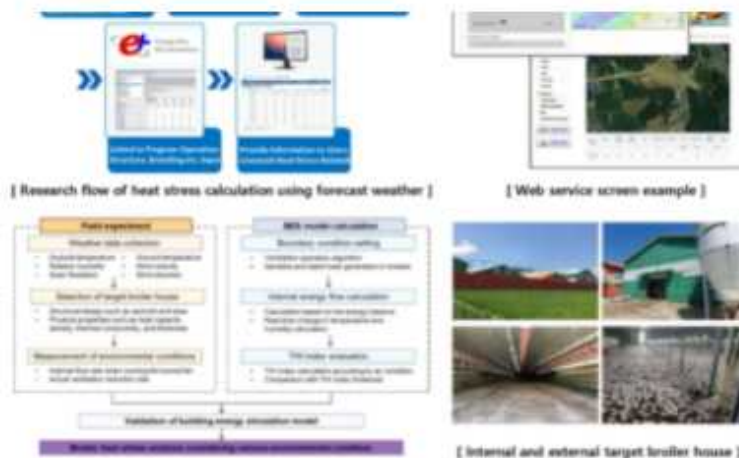
Customized Weather&Climate Information Service for Agribusiness



서울대학교

건물 에너지 시뮬레이션을 이용한 가축 ...

Livestock Heat Stress Prediction System using Building Energy Si...



주식회사 유역통합관리연구원

웨다스(WeaDas)

Seamless Weather Data Service



전시홍보 7

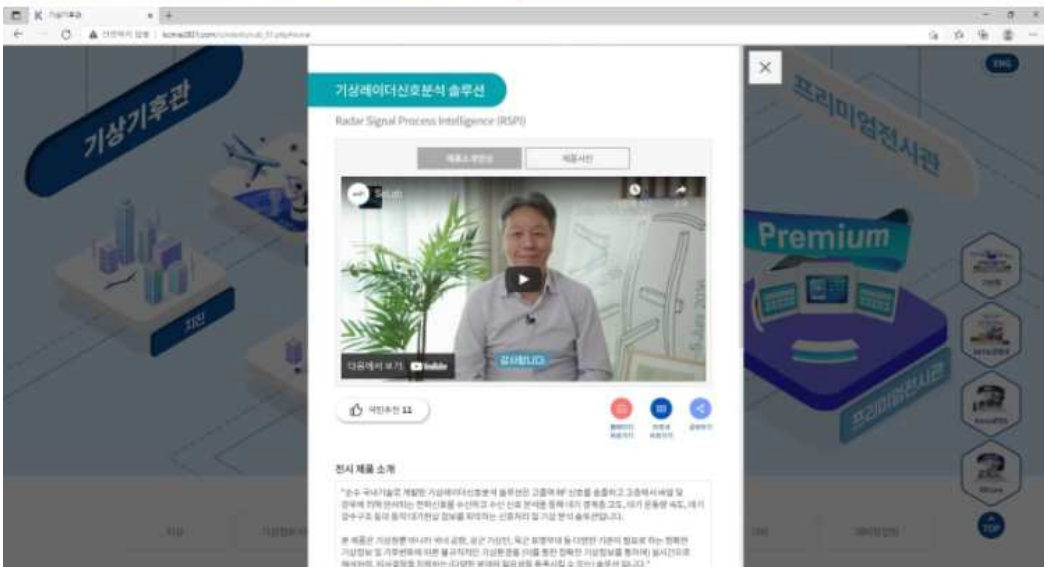


WEATHER & CLIMATE



세계 여러 곳에서 지구 온난화 등의 이상변화 극심한 기후 변화를 겪고 있습니다. 이러한 기후변화는 우리의 일상 생활에 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 재물 위력이 커지는 등 위험기상 규모에도 영향을 미쳐서 인명 및 재산 피해에도 관련 합니다. 뿐만 아니라 기상기후 정보의 정확적 가치 또한 매우 높게 평가되고 있으며 실제로 기상 기후 정보를 경우에 활용해 예산을 절감한 사례가 늘어나고 있습니다. (주)에스이엔에서는 기상기후 정보 차이의 효율성 극대화, 정보의 정확도 향상 등을 통해 기상기후 정보의 가치를 더 높이는데 주력하고 있습니다.

- 기상정보 통합관리 시스템 개발
- 기상정보 통합관리 시스템 개발
- 기상정보 통합관리 시스템 개발



전시홍보 8

서울대학교

Simple 양파/마늘 생산량 예측 앱

Simple Crop Yield Prediction App

서울대학교

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



검색어 입력



전체 속보 뉴스 지역소식 사람들 오피니언 데스크마당 알림마당 포토&영상

로그인 회원가입 모바일 앱 RSS

HOME > 뉴스 > 정치

이명수 의원, '기후위기에 따른 자연재난 대응, 새 정부에 바란다' 세미나 성료

편집=김연자 기자 | 승인 2022.04.21 16:52 | 댓글 0



국민의힘 이명수 의원(충남 아산시갑)은 21일 국회 도서관 소회의실에서 한국자연재난협회와 공동으로 '기후위기에 따른 자연재난 대응, 새 정부에 바란다'란 주제로 세미나를 개최했다.



세미나를 마친 후 단체 기념촬영했다.

이날 세미나는 이명수 의원과 전병성 회장(한국자연재난협회)의 개회사를 시작으로 △부경대 오재호 명예교수의 '기후변화 : 자연재난이 재앙으로' △한국산불학회 문현철 회장의 '기후변화와 산불대책' △경기대 이승희 교수의 '자연재난 폐기물 처리 현황 및 관리방안' △대진대 장석환 교수의 '새 정부 기후변화 대응 치수대책 방향'이란 주제발표와 자유토론 및 질의응답 순으로 진행됐다.



이명수 의원이 개회사를 하고 있다.

인기기사

- 1 (사)충청남도노인체육회, 아산 변영로 73 나...
- 2 국민의힘 아산갑 청년위원회, 한파 녹이는 '...
- 3 [신간]장미숙 아산문인협회 지부장, '다시 부...
- 4 아산, '민선8기 조직개편안' 시의회 통과
- 5 [동정]김희영 아산시의회 의장(12월 19일~1...
- 6 아산시의회, '2023년도 예산 및 기금운용계...
- 7 이태규 아산시 부시장, '아산과 함께하는 좋은 ...
- 8 (재)아산시미래창학회 임원(이사) '칭학기금 ...
- 9 박경귀 아산시장, 충남도 지방정부회의서 '...
- 10 코로나19 아산, 26일부터 '동절기 2가백신' ...

최신기사

- 아산, 내년부터 출산장려금 '대폭 상향'
- [인사]아산시청(2023년 1월 2일자)
- (사)충남도시건축연구원 정기총회...제11대 오형석 원장 선출
- 아산 방송파라뷰어린이집, 아산종합사회복지관에 '사람 나눔 돌봄' 기부
- 아산 '시청 의회동' 업무 돌입



기상센터

[뉴있저] 기록적인 폭우, 기후변화 탓?... "다음 주 더 강한 비"

2022년 08월 12일 19시 51분 댓글



■ 진행 : 함형건 앵커

■ 출연 : 오재호 / 부경대 환경대기과학과 명예교수

* 아래 텍스트는 실제 방송 내용과 차이가 있을 수 있으니 보다 정확한 내용은 방송으로 확인하시기 바랍니다.

인용 시 YTN '뉴스가 있는 저녁' 명시해주시기 바랍니다.

[앵커]

주말부터 다음 주까지 다시 전국적으로 비가 내린다는 소식이 예고되며 추가 비 피해가 우려되고 있습니다. 이번 폭우 원인부터 향후 날씨 시나리오는 어떤지 오재호 부경대 환경대기과학과 명예교수와 살펴보겠습니다. 이번 주에 내린 집중호우, 이른바 115년 만에 관측된 최악의 폭우라고 언론에서 얘기했는데요.

이렇게 이례적으로 집중호우로 이런 느닷없는 피해가 찾아지고 이런 현상. 일각에서는 이것을 지구 온난화나 기상 이변의 차원에서 해석하는 시각도 있습니다마는 기상 과학적으로 보면 어떻게 보고 계신 겁니까?

맛있는 한돈

우고도맛 포크밸리

부경양돈농협

2022 전국농부 우수농산물브랜드 선정

GOOD BRAND

대상 수상

식육 품질우수·생육우수 부문 한국양돈농협

농수산식품진흥법 제정 50주년 기념

이브한돈

한우

“한우가격 연착륙, 전방위 뒷받침”

정황근 장관, 한우협회 회장단과 면담서 밝혀

[축산신문 이종필 기자] 김삼주 회장, 소비촉진 정부 정책적 지원 요청 조사료 생산제도개선 한우 수출 활성화도 최근 한우산업을 둘러싼 환경이 한우농가의 경영도 악화되자 정부의 지원책이 절실히 요구되고 있는 가운데 지난 7일 전국한우협회 회장단이 정황근 농림축산식품부 장관을 찾아가 한우산업의 현안에 대해 논의했다. 이 자리에서 김삼주 회장과 한양수 이희대 부회장은 한우산업의 당면 과제에 대해 설명하고 정부의 적극적인 뒷...

속보 > 울타리가능 트랙터 호보락타 더 강해졌다 < >

신정재 에스에프 회장 '80 늙은이의 어린 생각' 에세...

80성상의 경험으로 삶의 지료 고찰

[축산신문 김명길 기자] 신정재 에스에프 회장이 80년 인생 이야기를 담은 에세이 '80 늙은이의 어린 생각' <사건>을 내놨다. 신 회장은 1940년 경기도 가...

수의과대학 신설 저지 "수의사 1천500명 모였다"

경의대학...영분없는 신설, 기존 대학 지원이 먼저

경의대학에서 '수의과대학 신설' 폐널 제기 파포먼스를 진행하고 있다. [축산신문 김명길 기자] 대한수의사회(회장 허주형)는 지난 22일 서울 여의도 국회...

차기 대한수의사회장 직선제 선거 2파전

허주형 대한수의사회장 최명민 서울시수의사회장 후보 등록

[축산신문 김명길 기자] 차기 대한수의사회장 선거가 2파전으로 치러진다. 대한수의사회 선거관리위원회는 지난 23일 제2차 대한수의사회 회장선거 후보자 등록결과를 공고했다. 이에 따르면 제2차 대한수의...

따라올 수 없는 차이 우리돼지 한돈

인터뷰

“환경개선 필요성 제기...정책·현장 ...

산학연정 유기적 협력 이끄는 비계육 할 강하 소프트웨어 축면 세부의 접근...

취임 1주년 맞은 손세희 대한한돈협...

많이 본 기사

- 1 고급육 생산 든든한 지원...거...
- 2 고려비엔피, 천만불 수출의 탑...
- 3 <2022 동물약품 산업 결산> ...
- 4 <기고>돼지고기 소비 패턴과 ...
- 5 [조점] 정부, 계란 수입 움직임...
- 6 “축산경기 산병어 산...내년에...
- 7 “한우 생산비 폭등, 출하일령 ...
- 8 인공육 시장, 정부 지원사격 본...
- 9 대체식품 “동물성 대신, 식물성...
- 10 PRRS 음성종돈 기근 심화

동영상 뉴스

[돼지이야]

사료이탈이 종료 43일된 기준 1kg 사료요구율(FCR) 한 이유! ...

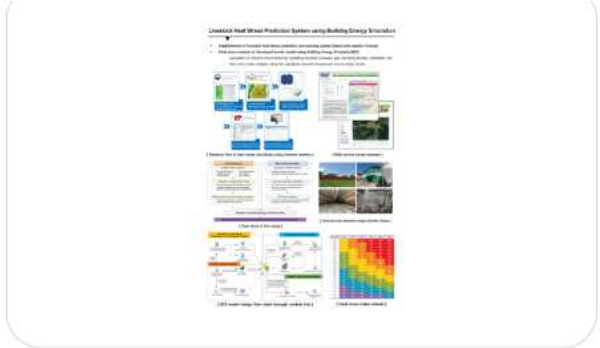
자이는 FCR 0.1... 에 열량이 가는...



Livestock Heat Stress Prediction System using Building Energy Simulation

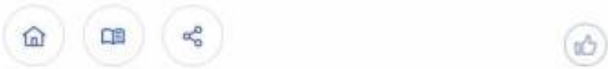
건물 에너지 시뮬레이션을 이용한 가축 고온스트레스 예측 시스템

* 기상예보와 연계한 가축 고온스트레스 예측 및 경보 시스템 구축 *
 BES(Building Energy Simulation)를 이용한 개발된 축사 모델의 고온스트레스 해석 - 축사 구조, 연령, 사육밀도, 환기 등을 입력하여 내부환경 계산 - 연산된 내부 온습도 결과를 이용한 열응력 지수 해석



○ 기업소개

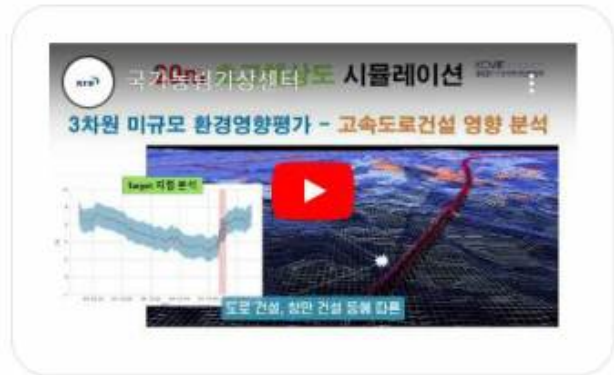
회사소개	서울대학교
대표자명	최해천
주소	
전화번호	
팩스	
이메일	
홈페이지	



Land-Atmosphere Modeling Package(LAMP)

농림축산분야에 특화된 지면대기모델링 패키지 서비스

이 패키지는 두 가지의 큰 축으로 구성되어 있다. 하나는 WRF 기상모델과 Noah-MP 지면모델의 결합시스템인 WRF/Noah-MP 시스템이고, 다른 하나는 Noah-MP 지면 모델의 오프라인 독립구동형 1차원 버전이다. WRF/Noah-MP 결합시스템은 동아시아를 포함하는 어미격자 도메인에 최고 810m의 수평 해상도를 갖는 3개의 동지격자로 구축되었으며, 가장 안쪽 도메인은 광릉 활엽수림 관측지와 침엽수림 관측지(GDK 및 GCK)를 포함한다. 정량적 검증 변수는 WRF/Noah-MP 결합시스템의 2m 기온, 10m 바람, 2m 습도, 강수이다.



제품소개영상

제품사진

기업소개

회사소개	재단법인 국가농림기상센터는 기상청, 농촌진흥청, 산림청, 서울대학교가 협력 약정을 체결하여 2009년에 설립된 공익법인으로서, 기상 데이터를 기반으로 전국의 농림업 생태계 현장에서 필요로 하는 기상 기후정보의 생산과 서비스를 위한 관측, 원격탐사, 모델링 관련 연구개발 및 전문 인력 양성을 주요 업무로 수행하고 있습니다.
대표자명	박종호

"기후위기 극복하자"...뉴스1 세종충북 대응전략 포럼 개최

인류 최대 화두 기후위기 현재 진단, 정책 대안 논의
"석학, 전문가 대안 제시 위기극복의 계기 되길 기대"

(정주=뉴스1) 엄기찬 기자 | 2022-12-09 16:52 송고

댓글

공감



9일 충북대학교 개신문화관 2층 세미나실에서 '기후위기 대응전략과 정책대안 포럼'이 열리고 있다. 2022.12.9/뉴스1

급격한 지구 환경 변화가 불러온 홍수와 가뭄, 폭염 등 각종 기후위기의 현재를 진단하고 미래를 함께 고민하는 뜻깊은 행사가 열렸다.

뉴스1 세종충북본부는 9일 오후 2시 충북대학교 개신문화관 2층 세미나실에서 '기후위기 대응전략과 정책대안 포럼'을 개최했다.

이재은 국가위기관리연구소 소장이 좌장을 맡고 김도형 텍사스주립대 교수와 오재호 나노웨더 대표, 맹승진 충북대 지역건설공학과 교수가 패널로 참여한 2부 토론회도 진행됐다.



고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙필
기반 가축, 농작물, 용수 관리의 적용 및
가뭄피해 저감 실증모델 구축

농작물 가뭄피해 저감을 위한 모바일 앱 기반 의사결정 지원시스템 개발

CropTeller
for the drought management



Crop Ecology · Eco Informatics Lab
Seoul National University

서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

농림축산식품부

한국농림기상학회
KSAFM
Korean Society of
Agricultural and Forest Meteorology

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		120099-03	
사업구분					
연구분야				과제구분	단위
사업명	농촌현안해결 리빙랩 프로젝트사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가속, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축			과제유형	개발
연구개발기관	국가농림기상센터			연구책임자	이승재
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2020. 04. 29 - 2020. 12. 31	600,000	200,000	800,000
	2차년도	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31	800,000	278,000	1,078,000
	3차년도	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31	800,000	298,200	1,098,200
	계		2,200,000	695,200	2,895,200
참여기업	서울대학교 산학협력단, (유)나노웨더, 유역통합관리연구원, ㈜에스이랩				
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 : 2023년 2월 20일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
국가농림기상센터	수석연구원	이승재

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	이승재	
----	-----	---

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 국가농림기상센터의 LAMP (Land-Atmosphere Modeling Package)는 국내 최초의 농림업 지원전용 수치모델링 시스템 패키지로서, 농업과 임업 분야의 국가기관, 지자체, 산업체, 학교, 연구소, 농가 등 다양한 수요자에게 고해상도 기상예측 자료를 지원해 왔으며, 본 과제를 통해 축산 분야에도 적용되어 가축고온스트레스 등의 예측에 고해상도 입력 기상 자료로 활용되었음. 나노웨더 중장기(S2S, Sub-seasonalto Seasonal) 예측자료는 전지구 기상 예측 모형인 CFSv2 forecasts 자료를 고해상도 진단모형인 AlphaMet으로 1km상세 격자화하고, 관측 자료의 AlphaMet 복원 자료를 함께 제공하여 모델 성능 비교 및 수요 예측 모델링에 다양한 적용이 가능함. 유역통합관리연구원의 장기 계절예보자료는 국가농림기상센터(단중기), 나노웨더(중장기)와 통합하여 이음새없는 다중규모 기상예측자료 (Seamless multi-scale weather forecasting)를 1km 고해상도로 만들었으며, 이는 기존에 없던 새로운 농업기상 예측자료 DB임.
- 이음새없는 다중규모 기상예측 자료를 이용한 가축고온스트레스 모델, 농작물생육 모델, 저수지 농업용수예측 모델은 국내에서 최고 수준의 모델임. 가축고온스트레스 모델의 경우, (1) 농가의 사육환경, 축사 구조 및 환경관리 등을 고려하여 가축 고온스트레스를 연산하고 이를 웹서비스에 표출하기 위해 동적수치해석이 가능한 오픈소스 프로그램을 사용하여 모델을 개발함. 기존 연구사례는 외부기상을 그대로 도입하여 가축의 생육환경이 반영되어있다고 보기 어려웠으나, 본 과제에서 개발한 모델은 실제 가축상황을 모의하여 연산한 축사 내부환경으로 가축 고온스트레스를 산출함. (2) 농작물 생육모델은 스마트폰 기반으로 양파, 마늘, 벼 등 연구대상 주요 작물의 재배에 있어서 재배자가 다양한 실험을 편리하게 사전에 모의할 수 있는 의사결정시스템을 처음으로 개발하여, 디지털 농업을 향한 중요한 토대를 마련하였음. (3) 농업가뭄 저수지 용수예측 모델의 경우, 지역적으로 물관리 방식, 수리체계 등의 상이함으로 인하여 일괄적으로 적용하기 곤란하므로 전북의 왕궁저수지를 대상으로 현장에서 적용가능한 기상예측자료 활용 가뭄대책을 수립하였으며, 본 과제에서 수행한 내용을 매뉴얼화 하였으므로, 타 지역에도 확장 및 적용이 가능함. (4) 서비스 시스템의 경우, 연구 기반으로만 진행되었던 가축/농작물 등의 폭염 피해에 대한 결과물을, 리빙랩을 통해 실질적인 농축산인 대상으로 앱/웹 서비스할 수 있는 실시기술 및 사업화 기반이 구축되었고, 향후 다양한 가능 피해에 대한 위험을 종합적으로 예측하여 전달할 수 있는 체계가 마련되었음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

[기술적 측면]

- 농업분야 기상 자료동화 기법을 적용한 결과의 학계 공유
- 가축 고온스트레스 평가 지표 및 위험도 평가 방법론 제시
- 폭염 시 실시간 고온스트레스 지수 산정 및 예보시스템의 기초자료 DB 구축

[경제적·산업적 측면]

- 지구 온난화에 따라 증가한 불확실성을 정량적으로 추정하여 안정적 작물생육 계획 추진을 위한 기상정보 제공
- 하절기 고온스트레스로 인한 가축폐사량 감소 방안 제시
- 가축 고온스트레스 저감을 위한 축사 운영 권장안 제시
- 모바일 앱 기반 작물 생육 전망 시스템 구축으로 효율적인 의사결정 지원
 - 작물 생산성 전망 자료를 활용한 객관적인 물관리 방안 도출 및 수자원 활용 최적화
 - 장기 예보 자료를 활용한 최적 작물 선정
 - 농가 수준의 재배 관리 자료 수집을 통한 작물 재배 빅데이터 구축
- 기후변화에 취약한 농촌 지역의 현장 맞춤형 영향예보로 제공하여 심각해지는 폭염과 가뭄과 같은 기상이변에 대한 대응 역량 강화
- 목표 서비스 지역의 여러 기관에서 상세화 기후자료를 활용한 기후변화 적응 의사결정을 원활히 하도록 기반자료 지원
- 가뭄피해 예상 지역에 대한 용수확보를 위한 저수지 연계운영 등 선제적 관리방안 도입을 통한 가뭄피해액 최소화
- 2018년도 이후 추진되고 있는 물관리일원화와 관련하여 농업용수를 포함한 통합물관리를 위한 의사결정에 있어서 이음새 없는 기후정보 (seamless climate information)의 물관리 실무에 활용을 통해 효율성 극대화 및 이를 통한 경제적, 환경적 가치 창출

[사회적 측면]

- 정확한 농림기상정보 제공으로 가뭄, 폭염, 홍수와 관련된 재해 최소화
- 개발된 스마트폰 기반의 양파, 마늘, 벼 등 연구대상지역 주요 작물재배 의사결정시스템은 향후 디지털 농업 발전에 핵심 엔진으로 역할

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 국가농림기상센터의 단중기 기상예측, 나노웨터의 중장기 기상예측, 유역관리통합연구원의 장기 기상예측 자료는 이음새없는 다중규모 기상예측자료(Seamless multi-scale weather forecasting)로 구축되어 전북 지역에 대하여 1km 고해상도로 제공이 되고 있으며, 전북 지역의 기상자료를 필요로 하는 수요자에게 활용될 수 있음
- 축사 관련 종사자에게 축사 관련 정보를 입력받아 모델을 연산하면 농장 상황별 축사 내부 가축고온스트레스 모의가 가능함. 이를 통해 고온스트레스 임계점을 넘지 않도록 운영 환기량을 연산하여 사용자에게 제공할 수 있는 모델로 발전시켜 이상기후 선제적 대응에 활용
- 개발된 양파, 마늘, 벼 작물재배 의사결정지원 모바일 어플리케이션을 Google playstore에 등록하여 제품화하는 데 활용
- 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 관리 모델은 매뉴얼화를 본 과제에서 진행하였으므로, 타 지역에도 확장 및 적용이 용이함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 주관기관에서는 위탁기관들 및 협동기관들과 연초 킥오프 대면 미팅을 시작으로, 코로나 상황을 감안하여 연중 수시로 온라인 화상회의를 소집하여, 기관 간 그리고 연구자들간 실제적인 연구진행 상황과 결과물을 공유하고 원활한 소통과 협업이 이루어지도록 하였음. 또한 매년 기상기후산업박람회에 모든 위탁 및 협동 기관의 연구결과물들이 전시 및 홍보되도록 하여, 목표한 리빙랩 기반의 서비스 구현을 내실있게 하였음
- 국내 연구개발 사례보다 정확도 높은 가축 고온스트레스 평가값을 제시하기 위하여 동적 수치해석 모델을 개발하였으며 하절기부터 환절기까지 다수의 전라도 지역 육계사에서 현장실험하여 모델상에 반영하기 위하여 노력함
- 관측기반 계절예보자료 및 고해상도 격자기반 계절예보자료의 생산을 완료하였으며, 이를 서비스화 하기 위하여 에스이랩과 협력하여 기상예측자료 제공서비스(WEDAS)을 개발하고, 연구개발의 성과를 사업화하는 과정을 성실히 수행하였으며, 이를 통하여 농민들에게 기상예측정보를 활용하여 작물관리에 활용되도록 하였음
- 농업가뭄 현장서비스의 경우 전라북도 전 지역의 농업가뭄정보제공을 위한 SPEI 및 RDI 지수에 대한 개발을 완료하여 에스이랩과 함께 이를 시스템화하였으며, 현장문제 해결을 위하여 왕궁저수지를 현장 적용 지역으로 선정하여 관련 기관(한국농어촌공사)와 관련 단체 및 현장 농민들과 협력체계를 구축하여 수행하였음
- 중장기(45일) 고해상도 기상예측자료를 안정적으로 서비스할 수 있도록 체계를 구축하여, 저수지 관리 및 작물 생육 예측 모델 연구자들이 활용할 수 있도록 하였음.

5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

3년 기간에 계획한 정량적 성과 목표들은 아래와 같이 사실상 모두 달성되었으며, 초과 달성이 된 부분이 많음 (실적/계획)

성과 항목	실적	계획	비고
- 특허 출원	1건	1건	
- 특허 등록	1건	1건	
- 기술실시(이전)	1건	1건	
- 제품화	2건	2건	
- 고용 창출	10명	2명	(초과 달성)
- SCI 논문	6건	6건	
- 비SCI 논문	7건	6건	(초과 달성)
- 학술발표	14건	12건	(초과 달성)
- 교육지도	4건	1건	(초과 달성)
- 인력양성	3명	4명	(1명은 2023년 8월에 졸업으로 인해 곧 달성)
- 정책활용	2건	1건	(초과 달성)
- 홍보전시	16건	14건	(초과 달성)
- 기타(SW등록)	3건	1건	(초과 달성)

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
정확도 높은 고해상도 다중규모 기상·기후 실시간 예측자료 생산 체계 구축	20	100	연구대상지에 대하여 정확도가 향상된 단중기, 중장기, 장기 다중규모 기상/기후 예측자료를 실시간으로 생산 및 입력자료로 제공함
기상예보와 연계된 가축 고온스트레스 예경보 시스템 구축	20	100	기상예보와 연계하여 가축의 고온스트레스를 동적으로 평가하고 예경보하는 시스템을 구축함
농작물 가뭄피해 저감을 위한 다중규모 예측정보 기반 스마트폰 의사결정 지원시스템 개발	20	100	모바일 앱 기반 가뭄피해 저감 의사결정 지원 모바일 어플리케이션이 개발되었음
농업가뭄 확산 및 수요예측 기반 리빙랩 방식 농업용수 피해 저감기술 개발	20	100	국내 실정에 적합한 농업가뭄 지표를 활용한 농업가뭄 확산을 예측하고, 피해저감을 위한 수요자 기반 농업용수 관리방안에 대한 기술을 확보함
농촌 현장문제 해결을 위한 수요자 참여기반 지역 맞춤형 영향예보 서비스 체계 구축	20	100	(1) 기상예보와 연계된 가축 고온스트레스 예 경보 시스템을 활용하여 구축한 PHS사이트와 (2) 농업가뭄 확산 및 수요예측 기반 리빙랩 방식 농업용수 시스템을 활용하여 구축한 ADAM사이트를 현재까지 실질적으로 운영 중이며, 협업과 열린 문화를 추구하는 리빙랩에 맞게 가축 고온스트레스 서울대학교 이인복 교수팀과 농업용수 서울대학교 배승중 교수팀의 각 분야 전문가들과 협업하여 다양한 시각과 전문적인 사이트를 구축할 수 있었고, 실제 사용하는 수요자 참여로 의견을 수용하여 이를 성공적으로 달성했다 사료됨
합계	100	100	3년에 걸쳐 수행된 연구를 통해 세부적으로 수립한 연구목표를 모두 달성함

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

연구개발 내용의 정성적 측면에 있어서 목표한 바를 성공적으로 달성하였음. 연구대상지에 대하여 단중기, 중장기, 장기 예측모델링 시스템을 통해 다중규모의 Seamless Forecasting Data 기상자료를 기존 자료 대비 과거 재현성 및 예측성이 향상되게끔 생산하였고, 영향예보 별 적정 인자를 선정하여 응용 모형들이 연계 구동되었으며, 서비스 시스템 내에서 현업적으로 자료가 생산되었음. 가축의 고온 스트레스 분석을 위한 동적수치해석 개별모듈 적용의 적합성을 확보하였고, 모듈 연계 구성의 타당성과 정확성 향상이 이루어졌으며, 가축 고온스트레스 평가 모델의 신뢰성을 확보하였음. 기상예측 자료를 활용한 작물 생육 예측 자료를 앱 기반으로 생산 및 구축하였고, 이것에 기반한 농가 의사결정 지원 정보를 제시하였음. 농업가뭄 및 농업용수 수요·공급 예측 모형 구축 및 인공지능을 이용하여 예측력을 향상시켰고, 농업용수 관리 방안을 매뉴얼화 하였으며, 리빙랩 방식에 의한 가뭄대비 농업용수 가뭄피해 저감방안을 제시하였음. 리빙랩 커뮤니티 웹사이트를 구축하여 농촌 현장 현안 분석을 적절히 수행하고, 수요자의 요구사항을 분석하였으며, 리빙랩 프로젝트 웹사이트 구축 및 영향예보 서비스 구축을 통해 실증모형을 서비스화 하였음.

또한, 연구개발 3년의 기간 동안 목표한 정량적 지표들을 코로나 기간과 겹치는 어려운 악조건에서도 전체적으로 초과 달성하였을 감안할 때, 전북 농촌지역의 현안 해결을 위한 리빙랩 프로젝트 사업으로서 고해상도의 다중규모 기상기후예측 및 리빙랩을 기반으로 가축, 농작물, 농업용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감에 실증적인 도움을 주는 모델들을 성공적으로 구축하였고, 서비스를 개시하였다고 평가됨.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

본 연구는 2020년~2022년까지 우리나라가 코로나 영향을 받는 시기와 겹친 시기 동안에 수행되었음에도, 참여 연구진들이 실험실과 현장에서 분투하여 정성적 및 정량적 목표 실적을 모두 성공적으로 달성하였음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

전북 지역에 생산된 고해상도 단중기, 중장기, 장기 기상/기후 Seamless Forecasting Data 예측자료를 타 지역에 대해서도 개발 및 지원할 수 있도록 후속 과제 또는 유지 보수 용역이 진행되도록 담당 부서에서 조치해 주시면, 본 과제 관련 전북 농촌지역에 개시된 사업의 안착 및 촉진에 실질적 도움이 되리라 사료됨

IV. 보안성 검토

해당 없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T P R O T E C T I O N	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
											S C I		비 S C I	논 문 평 관 I F						
단위	건	건	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	명	건	건		
가중치																				
최종 목표																				
당해 년도	목표	1	1		1		2			2		6	6		12	1	4	1	14	1
	실적	1	1		0		2			10		6	7		14	4	3	2	16	3
달성률 (%)		100	100		0		100			500		100	115		117	400	75	200	114	300

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	다중규모 맞춤형 기상기후예측 정보 생산
②	폭염-가뭄 고온스트레스 예경보
③	농작물 가뭄피해 저감을 위한 다중규모 예측정보 기반 스마트폰 의사결정 지원시스템
④	농업가뭄 피해 저감을 위한 가뭄예측 및 농업용수 관리 기술
⑤	리빙랩 서비스

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 결	정책 자료	기타
①의 기술		○					○			○
②의 기술	○					○	○	○		
③의 기술		○					○			
④의 기술					○		○	○	○	
⑤의 기술					○			○		

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	Seamless Forecasting Data를 기반으로 타 지역 및 타 분야에도 적용·확장을 위한 후속 연구개발 추진
②의 기술	이상기후에 따른 폭염 등 고온기에 시설 내 가축의 사육 환경을 선제적으로 대응하여 폐사를 막아 작가는 농가의 직접적인 피해를 줄이고, 크게는 국가의 재해보험 손해비 지출을 줄이고 축산물 수급 안정에 기여할 수 있음
③의 기술	모바일 앱의 보급과 농민들이 필요한 정보를 제공할 수 있도록 개선할 계획임 가뭄 등 기상조건에 따른 생산성 변동이 큰 채소 작물들에 대한 가뭄 피해 저감 의사결정 지원을 통해 농가들의 피해를 줄이고, 수자원 이용 효율 증대에 기여할 수 있음
④의 기술	가뭄피해 저감을 위한 농업용수 관리 분야에 적용 기대. 농업용수 관리 주체인 한국농어촌공사 및 지자체에 관련 기술 보급할 수 있도록 하겠음
⑤의 기술	<ul style="list-style-type: none"> - PHS 사이트를 지속해서 운영할 예정이며 핵심기술을 소유한 서울대학교 이인복 교수팀과 협업하여 현재 전북 지역 양계업자 대상에서 전남 등 지역을 확장해나가 다음에는 전국 양계업자 대상으로 서비스 확장 예정 - ADAM 사이트를 지속해서 운영할 예정이며 핵심기술을 소유한 서울대학교 배승중 교수팀과 협업하여 현재 전북 지역 농민 대상에서 지역을 확장해나가 다음에는 전국 농민 대상으로 서비스 확장 예정 - 차후 리빙랩 연구 기술 활용해서 리빙랩 관련 사이트들을 구축하여 새로운 웹서비스를 구축하여 차별화된 다른 동물의 스트레스 에 경보 시스템으로의 확대나 확장성 있는 서비스를 제공하고, 농업용수를 활용하는 농민들과 협업하여 지역사회와의 협력을 통해 더 큰 사회적 가치를 창출할 수 있을 것이라 기대됨.

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용(이))
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건				
가중치																				
최종목표	1	1			1		2			2		6	6	1.5	12	1	4	1	14	1
연구기간내 달성실적	1	1			1		2			10		6	7	2.6 82	14	4	3	2	16	3
종료 1차년도					1		5			10		1	1	1.0	2			1	7	
종료 2차년도					1		5			20								1		
종료 3차년도							5			20										
종료 4차년도										20										
종료 5차년도										20										
연구종료후 성과창출 계획 합계	0	0			2		15		0	90		5						0	2	7

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트 연구개발사업 고해상도 다중규모 기상예측 및 리빙랩 기반 가축, 농작물, 용수 관리의 폭염 및 가뭄피해 저감 실증모델 구축 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 농촌현안해결 리빙랩 프로젝트 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.