

발간등록번호

11-1541000-000488-01

전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템

Digital Climate Modeling for Agrometeorological Forecasting at Watershed Scale

경희대학교 산학협력단

농림수산식품자료실



0004514

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 4 월 24 일

주관연구기관명 : 경희대학교

주관연구책임자 : 윤진일

세부연구책임자 : 윤진일

연 구 원 : 정재은, 이옥선, 정명희, 이가영,
김기철, 조은경, 황규홍, 서희철,
설현수, 이재현, 안재훈, 임중환,
서형호, 조정건, 심교문, 김진희,
김수옥, 최만규, 권영순, 최미희

협동연구기관명 : (재)한국농림수산정보센터

협동연구책임자 : 김기주

연 구 원 : 이강오, 송근석, 변성아, 조경숙,
도기석, 강위수, 김중호, 한용규,
배세훈, 윤훈주, 김희주, 신용순,
김백주, 김여정, 이치화, 김윤경,
이인정, 안문일

위탁연구기관명: (사)한국농림기상학회

위탁연구책임자 : 정유란

연 구 원 : 배로나, 이학운, 윤경담, 허준

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템				
	(영문) Digital Climate Modeling for Agrometeorological Forecasting at Watershed Scale				
주 관 연구 기관	경희대학교		주 관 연 구 채 임 자	(소속) 경희대학교 식물환경신소재공학과	
참 여 기 업	(재)한국농림수산정보센터			(성명) 윤진일	
총 연구개발비 (1,000,000 천원)	계	1,000,000	총 연 구 기 간	2006. 4. ~ 2010. 4. (4년 월)	
	정부출연 연구개발비	1,000,000	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	123
	기업부담금	0		내부인원	24
	연구기관부담금	0		외부인원	99

○ 연구개발 목표 및 내용

- 남한 전역에 대하여 해상도 30m급의 격자형 디지털기후도를 제작하고, 이를 근거로 유역 맞춤형(watershed-specific) 농업기상예보시스템을 구축하는 것을 목표로 함
- 기상청 56개 관측지점의 1971-2000 및 1981-2010 종관기후자료(기온, 일사량, 강수량)를 기반으로 하여, 검증된 소기후모형에 의해 남한 840개 표준유역 단위로 월별 평균값 전자기후도를 제작하고 다양한 방법으로 자료의 신뢰성을 검증함
- 이를 토대로 각 유역의 농업기후지수와 식물생태반응을 고해상도 공간정보 데이터베이스로 구축하고, 사용자 교육 및 훈련프로그램을 운영함

○ 연구결과

- 1971-2000 및 1981-2010 평년의 월별 기온, 일사, 강수 등 전국의 기후자원을 지적도 상의 필지단위(30m~270m 해상도)로 정밀하게 파악할 수 있는 고해상도 디지털 기후자료 세트 제작
- 이를 토대로 필지별 작물 및 수목의 기후반응을 예측할 수 있는 생태반응지도 생산
- 사용자가 웹상에서 검색하고 필요한 부분을 다운받을 수 있는 전자기후도 제공시스템 구축
- 전자기후도 제작기술 일부를 기상청 ‘동네예보’에 적용함으로써 시공간적으로 해상도를 높인 농업모형 입력자료 생성기술 확보
- 충남 예산과 국립공원 지리산지역을 대상으로 병해충예찰, 생물계절, 작황 및 품질예측정보를 생산하고 그 결과를 30m 격자 형태로 실시간 제공하는 농업기상예보시스템 구축
- 잠재적인 전자기후도 사용자계층에 대해 체계적인 교육을 실시하였고, 일반 시민을 대상으로 과제홍보를 위해 공개강좌를 개설

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 디지털 농업기후도 및 관련기술은 (재)국가농림기상센터로 이전되어 사용자에게 서비스 중
- 국내 최대 농업정보포털인 (재)한국농림수산정보센터는 메인서버의 미러사이트 기능을 수행함으로써 보다 많은 사용자들에게 전자기후도 접근기회를 제공함

요 약 문

I. 제 목

전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템

II. 연구개발의 목적 및 필요성

남한 840개 표준유역에 대해 해상도 30m급의 격자형 디지털기후도(일명 ‘전자기후도’)를 각각 제작하고, 이를 표준좌표계 상에서 통합함으로써 타 지리공간자료와 호환가능한 소기후 공간 데이터베이스를 구축하는 것이 1차 목표이다. 이들 소기후 자료를 작목별 상세 농업기후지대 구분에 활용하고 유역별 농업기상예보 가능성 타진을 2차 목표로 두었다. 고해상도 디지털 농업기후도는 농업환경의 급격한 변화, 특히 기후평균값의 변화(온난화) 뿐 아니라 변동폭의 증대를 수반하는 최근의 기후 변화에 적응하기 위한 의사지원 기반정보로 활용하기 위해 기획되었다.

III. 연구개발 내용 및 범위

주요 연구개발내용은 (1) 복잡지역의 소기후모형 확립, (2) 전자기후도 제작, (3) 농업기후지대 구분, (4) 농업기상예보시스템 구축, (5) 농업기상실무자 교육프로그램 운영이다. 기상청 56개 관측지점의 1971-2000 및 1981-2010 종관기후자료(기온, 일사량, 강수량)를 기반으로 하여, 검증된 소기후모형에 의해 남한 840개 표준유역 단위로 월별 평균값 전자기후도를 제작하고 다양한 방법으로 자료의 신뢰성을 검증하였다. 이를 토대로 각 유역의 농업기후지수와 식물생태반응을 고해상도 공간정보 데이터베이스로 구축하고, 사용자 교육 및 훈련프로그램을 운영하였다. 선정된 지역(충남 예산, 국립공원 지리산)에 한해 전자기후도 기반의 농업기상예보시스템을 구축하였다.

IV. 연구개발결과

1. 1971-2000 및 1981-2010 평년의 월별 기온, 일사, 강수 등 전국의 기후자원을 지적도 상의 필지단위(30m~270m 해상도)로 정밀하게 파악할 수 있는 고해상도 디지털 기후자료 세트가 제작되었다. 이를 토대로 필지별 작물 및 수목의 기후반응을 예측할 수 있는 생태반응지도를 생산하였다. 이들 자료는 국가표준 지리정보규격에 맞추어 제작됨으로써 지리, 지형, 토양, 토지이용, 식생, 환경 등 기존의 공간자료와 중첩분석 및 통합관리가 가능하다.

2. 사용자가 웹상에서 전자기후도를 검색하고 필요한 부분을 다운받을 수 있는 전자기후도 제공시스템을 구축하였다.

3. 전자기후도 제작기술 가운데 주변 지형에 의한 그늘 효과(주간 기온), 일사 수광량 및 기온당량(주간 기온), 온난대효과(야간 기온), 냉기침강 효과(야간 기온)를 기상청 ‘동네예보’에 적용함으로써 시공간적으로 해상도를 높인 농업모형 입력자료 생성기술을 확보하였다.

4. 충남 예산과 국립공원 지리산지역을 대상으로 병해충 발생예찰정보, 생물계절정보, 작황 및 품질예측정보를 생산하고 그 결과를 30m 격자 형태로 실시간 제공하는 농업기상예보시스템을 구축하였다.

5. 잠재적인 전자기후도 사용자계층(농촌지도 및 연구 공무원, 농업기상 전공 대학원생)에 대해 연 2회 이상 연찬회를 통해 체계적인 교육을 실시하였고, 일반 시민을 대상으로 과제홍보를 위해 연 1회 공개강좌를 개설하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

디지털 농업기후도 및 관련기술은 (재)국가농림기상센터로 이전되었고 향후 이 기관의 주요 현업으로 사용자에게 서비스 될 것이다. 최대 농업정보포털인 (재)한국농림수산정보센터는 메인서버의 미러사이트 기능을 수행함으로써 보다 많은 사용자들에게 전자기후도 접근기회를 제공할 것이다.

SUMMARY

I. Title

Application of digital climate modeling for operational agrometeorological forecasting
at watershed scale

II. Needs and Objectives

The primary goal of this study is a digital mapping of local climates over terrestrial landscapes of 840 watersheds comprising the 100,000 km² land area of South Korea. The products are called 'High - definition digital climate maps' (HD-DCMs) since the spatial resolution is as high as 30m and prepared in a geo-referenced format for a full compatibility with other GIS layers. The secondary goal of this study is developing an agrometeorological forecasting system based on HD-DCMs for selected regions and crops to assist farmers and decision makers coping with climate change impacts for sustainable agriculture and natural resources management. Although climate change has been observed at global to regional scales, agricultural and forest ecosystem responses could be identified at the scales of cell to organism. Hence, climate change impact assessments will be possible only if we overcome “tensions of scale”. For the purpose of delineating the potential impacts of global warming on the vegetation and furthermore on the terrestrial ecosystems across the Korean Peninsula, we need to enhance the spatial resolution of both the observed and the projected climate data to landscape scales.

III. Scopes and Contents

Major scopes for the development are: (1) geospatial interpolation method for climatological data based on relevant corrections for land surface effects, (2) digital

maps of local climates using the geospatial climatology, (3) agroclimatic zoning at landscape scales for major crops and trees, (4) agrometeorological forecasting system for selected watersheds, and (5) training and education of potential users of HD-DCMs. We established geospatial models for estimating site-specific climates across a given watershed at a 30 to 270m resolution and applied these techniques to production of gridded climate data for each month of the climatological normal years (1971-2000 and 1981-2010) in 840 watersheds. Comprehensive validation procedures were carried out by using special observation networks as well as existing synoptic and automated weather data networks available in Korea. HD-DCMs were used to generate the gridded data surfaces of major plant ecophysiological responses and agroclimatic indices for a landscape scale zoning of agroclimatology. Potential users of the HD-DCMs such as agricultural extension workers, researchers, graduate students and land managers were trained for the utilization and application purpose by a step-by-step training program funded by this project. A demo system for agrometeorological forecasting service based on HD-DCM techniques was developed for selected counties including Yesan, Chungcheongnamdo, famous for apple production.

IV. Major Results

1. The map database categorized into primary, secondary and analytical products was prepared through the state of the art techniques in geospatial climatology. For example, daily minimum temperature surfaces were prepared by combining the climatic normals (1971-2000 and 1981-2010) of synoptic observations with the simulated thermodynamic nature of cold air by using the raster GIS and microwave temperature profiling which can quantify effects of cold air drainage on local temperature. The spatial resolution of the gridded climate data is 30m for temperature and solar irradiance, and 270m for precipitation. The secondary products are climatic indices produced by statistical analysis of the primary products and includes extremes, sums, and probabilities of climatic events relevant to farming activities at a given grid cell. The analytical products were prepared by driving agronomic models with the HD-DCMs and dates

of full bloom, the risk of freezing damage, and the fruit quality are among the examples.

2. A web-based HD-DCM service system was implemented on an internet portal (<http://www.ncam.kr>) operated by the National Center for Agro-Meteorology, a corporate organization established in 2009 by the memorandum of understanding among Korea Meteorological Administration (KMA), Rural Development Administration (RDA), and Korea Forest Service (KFA).

3. We developed a weather data generation scheme for site-specific agronomic models by applying selected techniques in HD-DCMs (e.g., hill slope shading, cold air drainage, solar irradiance etc.) to the digital weather forecasting products routinely issued by KMA. This scheme greatly improves the spatio-temporal resolution of the KMA products and enables near-real time application to agricultural decision making such as disease and pest management.

4. An operational service for agrometeorological forecasting was established in Yesan county, Chungcheongnamdo, and Mt. Jiri National Park area. Forecast products such as disease and pests, phenology, crop status, and fruit quality of major species are provided at 30m grid cell spacing on a near-real time basis.

5. At least 2 workshops and 1 open seminar per year were provided by the Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology (KSAFM) to the potential users of HD-DCMS including graduate students and extension specialists for efficient implementation of the products, and to citizens for wider public relations.

V. Application Plan

HD-DCMs and the value-added products as well as the related patents have been transferred to the National Center for Agro-Meteorology (NCAM). The NCAM will serve as the national provider of agricultural weather information based on HD-DCMs.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the Study	-----	1
Chapter 2. Status and History of the Related Technology	-----	6
Chapter 3. High-Definition Digital Climate Maps		
1. Temperature	-----	11
2. Solar irradiance	-----	43
3. Precipitation	-----	58
4. Agroclimatic zoning	-----	72
5. User education	-----	86
Chapter 4. Site-specific Agrometeorological Service		
1. Web display of real-time weather	-----	109
2. Web dissemination of HD-DCMs	-----	112
3. Pre-treatment of KMA digital forecasts	-----	124
4. Database management system	-----	134
5. Agrometeorological forecasting system	-----	136
6. System operation	-----	142
Chapter 5. Achievements and Expected Contribution	-----	144
Chapter 6. Recommendation for the Application	-----	147
Chapter 7. Information Collected from Foreign Countries	-----	157
Chapter 8. References	-----	158

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	-----	1
제 2 장	국내외 기술개발 현황	-----	6
제 3 장	전자기후도 제작		
제 1 절	기온	-----	11
제 2 절	일사량	-----	43
제 3 절	강수	-----	58
제 4 절	농업기후지대구분	-----	72
제 5 절	실무자 교육훈련	-----	86
제 4 장	농업기상예보시스템 개발		
제 1 절	실황기후도 제작 및 웹 표출기술 개발	-----	109
제 2 절	전자기후도 제공 시스템 구축	-----	112
제 3 절	동네예보 전처리기술	-----	124
제 4 절	기후자료 DB관리 시스템 구축	-----	134
제 5 절	농업기상예보시스템 구축	-----	136
제 6 절	시스템 운영	-----	142
제 5 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	-----	144
제 6 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	-----	147
제 7 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	--	157
제 8 장	참고문헌	-----	158

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

‘전자기후도’(고해상도 디지털 농업기후도의 별칭)는 농업환경의 급격한 변화에 적응하기 위하여 기획되었다. 우리나라 농업은 지난 반세기 동안 급변하는 사회적 수요에 부응하기 위하여 변모를 거듭해 왔는데, 이 과정에서 농업자체가 환경오염과 파괴의 주범으로 몰리기도 했지만 빈발하는 자연재해의 희생자로 큰 대가를 치르고 있다. 농업분야 자연재해란 많은 부분이 인간의 힘으로는 어쩔 수 없는 자연현상에 의해 발생하지만, 자연의 순방향을 거슬러 인간의 이익만을 추구할 때 그 피해가 더욱 커진다. 작금의 기후변화는 기후평균값의 변화(온난화) 뿐 아니라 변동폭의 증대를 수반하므로 재해경감대책은 기후변화 적응전략의 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.

자연재해를 줄이기 위한 첫걸음은 당연히 자연에 순응하는 것이지만, 우리나라의 농업발전전략은 여기에 역행하여 왔다고 해도 과언이 아니다. 예컨대 농업소득의 핵심으로서 백색혁명이란 신조어를 만들며 농촌 뿐 아니라 도시근교 경관까지 바꿔 놓는 비닐하우스는 사실 그 속에서 자라는 농작물에게 재배부적지를 가리키는 뚜렷한 지표이다. 하우스재배는 부적합한 환경을 개선하기 위해서 주어진 자연자원 외에 인위적인 재료와 에너지를 추가로 투입해야 하기 때문이다. 환경조절농업은 그렇다 치더라도 노지농업까지 이러한 자원 과투입-에너지소모성 농법이 일상화 되어 있다.

자연에 순응하는 농림업이란 작물 혹은 수목의 생리생태에 꼭 맞는 토양과 기후를 찾아내는 일에서 시작된다. 사실 야생식물의 원산지나 집단서식지와 유사한 환경을 찾아내는 일이 적지적작의 기본이다. 적합한 토양을 찾아내는 일은 일찍이 전국의 토양조사로부터 시작되어 농촌진흥청에서 ‘토양전자지도’ 이름으로 제공하고 있다(<http://asis.rda.go.kr>). 하지만 토양과 함께 식물의 생육을 지배하는 기후, 즉 농업기후(agricultural weather and climate)는 시공간적 규모면에서 국지기후와 미기후로 분류되나, 우리나라의 경우 기상관서에서 생산·배포하는 예보구역단위의 조방적인 기상정보를 적절한 보정 없이 농림업분야에 적용해 옴으로써 실효성이 매우 낮았

다. 최근 기상청에서 ‘동네예보’란 별칭으로 디지털기상정보를 제공하기 시작했지만 이마저도 해상도가 사방 5km에 달하는 조방적인 것이다. 이번 과제를 통해 경관규모(landscape scale) 수준의 정밀한 소기후 정보가 준비됨으로써 이들을 이용한 국토의 효율적 활용과 보전계획 수립, 지구온난화에 따른 작목과 임분의 재배치 등 농림업의 하부구조개혁이 기대된다. 나아가 공간정보와 시뮬레이션기술을 활용한 농림생태계 통합관리는 세계적인 추세이며 우리나라에서도 농업기후자료 외에 거의 모든 국토공간정보가 구축된 상황이므로 전자기후도는 기존 공간정보와 함께 상세한 농림생태계 동태모사를 가능하게 함으로써 양질의 농림업/생태계 관리 의사지원 정보를 제공할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 목표와 범위

본 연구는 남한 840개 표준유역에 대해 해상도 30m급의 격자형 디지털기후도를 각각 제작하고, 이를 표준좌표계 상에서 통합함으로써 타 지리공간자료와 호환가능한 소기후 공간 데이터베이스를 구축하는 것을 1차 목표로 삼았다. 나아가 이들 소기후자료를 작목별 상세 농업기후지대 구분에 활용하고 유역별 농업기상예보¹⁾ 가능성 타진을 2차 목표로 두었다.

소기후 공간자료 구축은 기상청에서 관측한 1971-2000 및 1981-2010 평년의 월별 종관기후자료를 대상으로 하였고, 기후요소는 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량, 일사량 등 4종이었다. 이들 요소는 식물의 기상반응을 알기 위한 기본자료세트이다. 기본자료는 다시 통계적인 처리와 가공을 통해 기후극값, 식물지수, 계절지수, 적산온도 등 농업기후지수 분포도로 제작되었으며, 마지막으로 다양한 농업모형 구동을 통해 휴면, 발아, 개화, 품질 등 생태반응 분포도가 제작되어 상세 농업기후지대 구분의 근거로 쓰였다.

농업기상예보는 30년 평년기후자료에 근거한 전자기후도 제작과는 달리 매일, 매시간 기상실황에 근거한 산출물로서 자료처리용량이 방대하다. 전국을 대상으로 개발하기에는 시간, 인력, 예산이 크게 부족하므로, 선정된 지역(충남 예산군, 국립공

1)현재까지 날씨경과에 따른 농작물의 작황, 수목의 생리생태, 병해충 발생, 토양수분상태 등 농생태계의 반응을 예측하는 작업(agrometeorological forecasting)

원 지리산)의 주요 작목(사과와 배)으로 범위를 제한하여 추진하였다. 기상청에서 제공하는 5km 해상도의 동네예보(3시간 간격 기온, 습도, 강수 등)를 기반으로 전자기후도 제작기술에 의해 해상도를 30m로 증강하고 이를 이용하여 작황 및 품질 전망, 병해충 발생 예찰을 시도하였다.

전자기후도의 제작 및 농업기상예보시스템의 구축은 사실상 기술적인 문제이며 이미 실험실 수준에서 증명된 과제이다. 보다 현실적인 문제는 과연 누가 얼마만큼 연구성과를 활용하고 그로부터 이익을 창출하느냐이다. 따라서 본 과제에서는 연구개발 초기부터 미리 성과물 사용자를 지정하고 철저한 훈련을 통해 연구종료와 함께 현업화가 가능하도록 하였다. 사용자 대표로서 농촌진흥청 산하 전문지도사 모임인 ‘농업기상연구회’를 선정하고 구성원들로 하여금 정기적인 연찬회에 참여토록 함으로써 전자기후도에 대한 이해를 높이고 그 활용방법을 터득하도록 하였다.

제 3 절 연구개발의 추진체계

목표달성을 위한 중점기술은 (1) 복잡지역의 소기후모형 확립 및 공간분석, (2) 전자기후도 제작, (3) 농업기후지대 구분, (4) 농업기상예보시스템 구축, (5) 농업기상 실무자 교육프로그램 운영이다. 이들 중 (1)은 (2)를 위한 선결조건이며, (2)는 다시 평년기후도제작, 실황기후도 제작, 그리고 기후도 검증 등 3부분으로 구성된다. 여기서 실황기후도는 (4)의 선결조건이 된다. 따라서 이들 사업을 효율적으로 추진하기 위해서 (1), (2), (3)을 통합하여 경희대학교에서 주관하는 세부과제로 추진하였고, (2)의 실황기후도 제작부분과 (4)를 통합하여 재단법인 한국농림수산정보센터(AFFIS)에서 협동과제로 추진하였다. (5)는 주로 전자기후도의 활용에 대한 교육훈련이며 사단법인 한국농림기상학회 위탁과제로 수행하였다.

과제의 핵심 부분인 840개 유역별 평년기후도 제작은 전문기술인력(연구원급) 1인과 기능인력(보조원) 1인으로 이루어진 전담팀 3개를 조직하여 수행하였다. 이미 확립된 소기후모형을 개선하고 유역별 DEM(digital elevation model) 등 공간자료, 그리고 기상청 56개 관측지점의 1971-2000 및 1981-2010 종관기후자료에 의해 1팀이 하루 평균 1개 유역씩 처리하였다. 기온, 일사량, 강수량에 대해 각각 1년씩 시간을

배정하였으며 동시에, 제작된 기후도의 검증실험을 다음 1년씩 실시하였다. 모형의 적합성과 제작된 전자기후도의 신뢰성 검증은 기본적으로는 현존 관측망으로부터 수집된 실측자료를 이용하였으며, 야간경계층 관측 등 필요한 경우에는 환경계측 분야 전문업체(주식회사 에스티에이)의 지원을 받아 특별관측을 수행하였다.

농업기후지대 구분은 농림업 각 분야별 농업기후모형과의 연계가 필수적이므로 원예연구소, 농업과학기술원, 산림과학원 등 각 분야 전문가를 참여시켜 이들로 하여금 해당 분야 최적모형을 선별하고 전자기후도에 적용하여 각 기관에서 필요로 하는 농업기후 혹은 산림기후 지대구분을 수행토록 하였다.

협동과제를 주관한 한국농림수산정보센터는 1999년부터 “아피스1500”이라는 읍면 단위 농업기상정보서비스를 개발하여 지금까지 인터넷 연동으로 운영해온 경험이 있다. 농림수산정보센터는 기상청(실황기후도 제작), 선도소프트(공간자료관리), 에피넷(농업기상예보) 등 분야별 국내 최고 전문기술인력을 연구원으로 참여시켜 이들과 공동연구를 수행함으로써 새로운 개념의 “유역맞춤형”(watershed-specific) 서비스를 개발하였다. 이 서비스는 기본적으로 기상청, 농촌진흥청, 산림청의 공동발의에 의해 2009년 11월 발족한 (재)국가농림기상센터를 통해 제공되지만 농림수산정보센터는 mirror site로서 기존 아피스1500 서비스를 계승한다. 연구기간 내 전국 모든 시군에 대해 맞춤형 농업기상예보시스템을 구축하는 것은 불가능하므로, 우선 농촌진흥청 전문지도연구회(농업기상 분야) 회원이 소속된 시군 가운데 ‘황토사과’로 유명한 충남 예산과, 영호남을 아우르는 넓은 지역에 위치하며 지형이 복잡한 국립공원 지리산을 선정하였다. 나머지 시군에 대해서는 연구종료 후 (재)국가농림기상센터에서 예산을 확보하여 희망 시군별 대표작물 혹은 과종별로 시스템을 구축하여 이진해 주도록 하였다.

전자기후도 및 농업기상예보 활용을 위한 실무자 교육훈련은 농림수산식품부 산하 공익법인이며 국내 유일의 농업기상 전문가 단체인 한국농림기상학회에 위탁하여 추진하였다. 훈련과정개발, 교재집필, 연찬회개최 등 RFP 상의 세부항목을 설계 단계부터 학회 소속 전문가 및 농업기상 전문지도연구회와 공동으로 추진하였으며, 개발된 훈련프로그램이 세계기상기구 아시아지역 농업기상 훈련센터(중국 난징기술대학)에 상설프로그램으로 정착시켰다. 교재는 예비과정(농업기상-산림기상 입문),

초급과정(공간정보 이용 및 전자기후도 입문), 중급과정(전자기후도 제작 및 맞춤형 정보생산), 고급과정(프로그래밍, 개발자)에 맞추어 집필하였고 이에 따른 훈련과정을 실습 위주의 연찬회(workshop)를 기본으로 설계 및 시연하였다.

본 과제의 성공적인 수행과 결과의 조기활용을 위하여 농림수산식품부 과제활용 담당관, 기술관련 전문가, 관리기관 간사 등이 참여하는 연구협의회를 연 2회씩 개최하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 세계적 수준

역사적으로 선진국의 농학(agronomy)은 토양-작물-대기 3요소의 학제간 협력을 바탕으로 발전해 왔으며, 특히 농업기상정보는 모든 영농기술의 개발과 지역적응의 전제조건으로 간주되어왔다. 우리나라와 같이 지형이 복잡한 곳에서는 기상청 표준 기상관측망으로부터 수집되는 기상자료(소위 종관자료)에 의해 농작물이나 수목생장을 예측하는데 한계가 있으므로, 일찍이 종관기상자료로부터 국지기상을 추정하는 연구가 진행되어왔다. 이 기술은 GIS, RS, GPS 등 공간정보기술에 힘입어 최근 20년간 크게 발전하였는데, 그 가운데 미국 오리건주립대학의 PRISM과 몬태나주립대학의 MT-CLIM, 캐나다 산림청의 BioSIM 등으로 대변되는 기후공간내삽모형 및 그 응용기술들이 돋보인다.

PRISM은 “Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model”을 가리키며 기본적으로 DEM의 각 격자점별로 기온이나 강수량과 고도사이 관계를 표현하는 회귀식(계수)으로 이루어진다. 격자점 주변의 기상관측소로부터 실측자료를 수집하여 공간평균값을 얻는 소위 공간내삽기술인데, 이 기술의 핵심은 관측소마다 서로 다른 가중치를 얻는 것이다. 예를 들어 해발고도, 경사방향, 경사도, 수계분포, 해안거리, 역전층형성 등이 이 과정에서 이용된다. 미국과 캐나다의 농업부에서는 이 기술에 근거하여 해상도 800m급의 식물내동성지도(Plant Cold Hardiness Zone Map)를 생산하며 5년마다 갱신하고 있다.

MT-CLIM은 기상관측소 한 곳의 일 최고, 최저기온, 강수량 실측자료를 토대로 산악지대 임의지점의 기온, 강수량, 일사량, 습도를 추정하기 위한 컴퓨터 프로그램이다. 임의지점의 특징은 위도, 경도, 경사도, 경사방향 등으로 구분된다. 최근 넓은 지역에 걸쳐 이 모형을 적용하기 위해 Daymet이란 확장기법이 개발되어 DEM만 준비되면 각 격자점의 기상조건을 기존 관측망으로부터 수집되는 기상자료의 최적공간내삽에 의해 그 분포도를 만들어 준다.

BioSIM은 곤충생태에 미치는 기상의 영향을 정량화함으로써 산림해충의 발육단계를 예측하는 모형이다. 이때 기상조건은 국지 소기후조건을 의미하며 소기후

mapping을 위해 공간내삽기법을 이용하는데, 특히 일 최고기온에 대한 내삽기법은 가장 우수한 것으로 평가된다. 이렇게 내삽된 격자형 기상자료에 의해 해충모형을 구동시킴으로써 발생예찰결과도 전 지역에 대해 분포도 형태로 제공된다.

유럽연합은 전자기후도와 위성영상, 그리고 작물모형을 이용하여 주요 농작물의 작황예측사업(MARS)을 실시 중이며, 나라별로 주요작물 및 병해충에 대한 시뮬레이션기술(예, 독일기상청의 AMBER)을 확보하여 작황진단 및 병해충관리 의사지원 체계를 운영하고 있다. 특히 이태리와 프랑스에서는 최고급 포도주 생산을 위한 재배적지 관정 및 품질인증을 위해 해상도 75m급의 초정밀 농업기후도를 활용하고 있다.

제 2 절 국내 수준

1980년대 후반에 일본에서 도입된 통계학적 국지기후 추정기술(일명 그물망기후도)로부터 최근의 GIS와 지형기후이론에 근거한 공간기후모형에 이르기까지 실험실 수준의 기초기술은 지속적으로 연구되어왔지만 실용시스템으로 발전하지는 못했다. 따라서 농촌진흥청, 산림청, 지방자치단체에서 농업기상관측용 자동화 기기를 설치 운영 중이나 전자기후도 및 농업모형과의 연계 부족, 정보생산 및 활용체계의 미비로 의도했던 성과를 거두지 못하고 있다.

다만 일부 지역을 대상으로 전자기후도를 제작하고 이미 구축된 토양, 수문, 지표 피복자료 등과 함께 농업모형을 구동시킴으로써 우리나라에서도 농업기상예보 생산이 가능함을 보여준 사례도 있다. 예를 들어 경기도농업기술원에서 수행한 북한서부지대 적응 남한 벼 품종의 선발 및 DMZ 접경지역 농지생산력 검증, 농촌진흥청 국립원예특작과학원의 고품질 과수 생산가능지 검색 및 동상해 경보시스템 등에 이미 이용되었으며, 기상청 농업기상센터(수원)에서는 전남 나주와 경기 안성지역에 대해 30m 해상도 일 최저기온 예보 및 배상해경보를 위한 실시간 웹서비스를 개설하였고, 900m 해상도의 전국 증발산실황분포서비스를 시범적으로 운영한 바 있다.

기상청에서는 역학모형(dynamical simulation)과 자동기상관측자료에 근거한 5km 해상도의 동네예보 서비스를 운영중이며, 최근에는 태양광 및 풍력 발전소 입지선

정을 돕기 위해 공간해상도가 1~5km인 일사량 및 바람자원 지도를 제작하여 서비스를 시작하였다.

제 3 절 국내외 연구현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
<p>Victoria University / Canadian Institute for Climate Studies / Canada (캐나다)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Canadian Climate Impacts and Scenarios 개발, 캐나다와 북아메리카의 지난 30년간의 기상자료를 분석하여 향후 100년간 기후 시나리오 - 생물기후(bioclimate)정보 제공 : 일 평균, 최고, 최저 기온, 극 최고 최저기온, 일 강수량, 연평균 강수량, 적산온도, 일사량, 서리, 가뭄과 홍수를 수치화한 정보 	<p>http://www.cics.uvic.ca</p> <ul style="list-style-type: none"> - 캐나다와 북아메리카의 지난 30년간의 기상자료를 분석하여 향후 100년간 다양한 기후변화 시나리오를 여러 분야의 연구자나 연구단체에 정보를 제공 - 시나리오 Maps & Data, Tools를 제공 - 기후변화 시나리오에 대한 FAQ 와 관련된 정보들을 링크 - 기후변화로 야기될 수 있는 영향과 이에 대한 대응방안의 정보를 제공
<p>Department of Forestry / Geosciences, Oregon State University, USA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) 개발. 이 기술은 기상관측소로부터 실측자료를 수집하여 공간평균값을 얻는 소위 공간내삽기술의 일종으로서 임의지점의 기온이나 강수량에 미치는 표고의 영향을 단순회귀식으로 나타내는 고전적 기술에 기반을 두되, 수치고도모형(DEM)의 각 격자점별로 독립적인 회귀식(계수)을 적용함 	<ul style="list-style-type: none"> - 오리건주정부 지원에 의해 주립대학에 공간기후분석청 (<i>Spatial Climate Analysis Service</i>)을 설립하여 현업화 - 미국과 캐나다의 농업부에서는 이 기술에 근거하여 해상도 800m급의 식물내동성지도(Plant Cold Hardiness Zone Map)를 생산하며 5년마다 갱신 - 중국, 대만, 유럽 등 해외 기술이전 추진 및 기술료 수입 예상
<p>Numerical Terradynamic Simulation Group (NTSG), Montana State University, USA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - MT-CLIM : 기상관측소 한 곳의 일 최고, 최저기온, 강수량 실측자료를 토대로 산악지대 임의지점의 기온, 강수량, 일사량, 습도를 추정 - Daymet : DEM만 준비되면 각 격자점의 기상조건을 기존 관측망으로부터 수집되는 기상자료의 	<ul style="list-style-type: none"> - Ecosystem process modeling 및 Biometeorology 분야 연구에 국제적으로 활용 - 주정부 기후국(<i>Montana Climate Office</i>)에서 현업화

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
	최적공간내삽에 의해 그 분포도를 만들어	
Laurentian Forestry Centre, Canadian Forest Service, Canada	- BioSIM 곤충생태에 미치는 기상의 영향을 정량화함으로써 산림해충의 발육단계를 예측하는 모형이다. 이때 기상조건은 국지 소기후조건을 의미하며 소기후 mapping을 위해 공간내삽기법을 이용하는데, 특히 일 최고기온에 대한 내삽기법은 우수	- 산림병해충예찰 및 실시간 경보서비스 (내삽된 격자형 기상자료에 의해 해충모형을 구동시킴으로써 발생예찰결과도 전 지역에 대해 분포도 형태로 제공)
Institute of Biometeorology (IBIMET), Italy	- 75m 해상도의 정밀기후도 및 이를 기반으로 하는 농업기후지대구분	- 고급와인양조용 포도 생산적지 탐색 및 재배관리
농촌진흥청	- 1980년대 중반에 국지기후에 영향을 주는 기후인자를 다수 선정하여 이들 가운데 통계적 유의성이 인정되는 것들만 모아서 중회귀모형을 선발 - 관측소가 없는 격자에 이 회귀식을 적용하여 기후를 추정하는 통계학적 기술인 소위 ‘그물망기후도’ 제작기술개발	- 전국의 기후자원을 1km 해상도로 표현하였음
공주대학교	- 기상청의 지원으로 현재 25km 수준인 기온 및 강수 일기예보해상도를 5km 수준으로 높여서 ‘동네예보’에 활용하기 위한 연구를 수행 - 여기에 사용된 기술은 본질적으로 오리건주립대의 PRISM과 동일하여 최종성과물의 명칭을 K-PRISM이라고 명명하였음	- 동네예보
경희대학교 생태정보연구실	- 기상관측소 기온자료에 내포된 도시화(urbanization) 및 도시열섬(urban heat island) 효과의 정량화, 임의 사면의 일적산일사수광량(irradiance)을 간편하게 추정하는 방법 등 개발 - 복잡지형의 기온, 지온에 미치는 찬공기유입, 온난대효과, 일사효과 등을 감안한 소위 ‘공간기후’ 모형 작성 - 공간기후모형은 관측여건이 표준화된 종관자료만 활용하므로 고밀도의 관측망이 불필요하고, 대신 고해상도의 공간정보(DEM, land cover, land use, 위성영상 등)와 지리정보시스템(GIS) 기술을 이용함	- AFFIS 1500 농업기상 정보서비스(1999년) - 시군별 사과재배적지 검색프로그램(원예연구소, 2003년) - 북한서부평야지대 남한품종 적응 지역 탐색 (경기도 농업기술원, 2005년) - 남한전역 30m 해상도 농업용 전자기후도 제작 (평년 월별 일 최고, 최저기온, 강수량, 사면일사량, 2차기후도, 농림수산식품부, 2008년)

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
	<ul style="list-style-type: none"> - 국가표준기후시나리오(A1B, A2)에 적용하여 분해능 270m의 월별 기온 분포도를 남한 전역에 대해 작성 - 생물계절모형과 작물생육모형 구동에 이용함으로써, 미래의 벚꽃 개화예상일, 과수 동해위험도, 식량작물 작황예측 분포도 제작 	<ul style="list-style-type: none"> - 예산군 황토사과 재배적지 검색시스템 제작(2009년)

제 3 장 전자기후도 제작

제 1 절 기온

1. 산악지대 일 최고기온 추정모형

일 최고기온의 결정에 고도 외에 한낮의 일사량이 중요한 역할을 한다는 사실은 오래 전부터 경험적으로 알려져 왔는데, 캐나다 산림청에서는 이것을 정량적인 모형으로 표현하였다(Regniere *et al.*, 1996). 즉 주어진 경사면에 대해 오전 11시부터 오후 3시까지 4시간 동안의 일사량을 적산하여 평야지의 수평면 일사량과 비교하고 그 비율에 따라 표준관측소의 최고기온을 보정하는 것이다. 이 때 흐린 날은 일교차가 작고 맑은 날은 그 반대인 것을 감안하여 하나의 수식으로 표현하면 일 최고기온 보정값 ε 은

$$\varepsilon = \nu \cdot R \cdot \Delta T_R \quad \text{-----} \quad (1)$$

이 되는데, 여기서 R 은 기온일교차, ΔT_R 은 수평면과 경사면간 일사량 편차에 의한 기온상승분의 상한값이다. ν 는 과열지수(overheating index)로 불리며 4시간 동안 수평면 일사수광량(φ_0)과 경사면 일사수광량(φ_i)간의 차이를 표준화한 것이다.

$$\nu = \frac{\varphi_i - \varphi_0}{\Delta \varphi_{\max}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

이 식에서 분모는 북반구에서 관측되는 수평면과 경사면간의 오후 4시간 동안 일사수광량 편차 가운데 최대값(15 MJ m^{-2})이다. 이 식에 의해 계산되는 과열지수는 최대값이 1.0이며, 최소값은 북위 64도에서 북쪽으로 45도 경사진 사면 상에서 7월 중에 관측되며 그 값은 -1.935이다.

이 모형의 실용성을 높이기 위해서는 여러 조건에서 야외실험을 수행해야 한다. 그 중 하나는 경사향에 따른 일 최고기온의 변이를 알기 위한 것으로서 본 연구에

서는 지표가 초지로 덮여 있고, 전체적인 모양이 반듯한 원추형으로서 모든 방향에서 비슷한 경사도를 보이는 기생화산 “높은오름”(제주시 구좌읍 송당리)을 시험지로 선정하였다(그림 1).

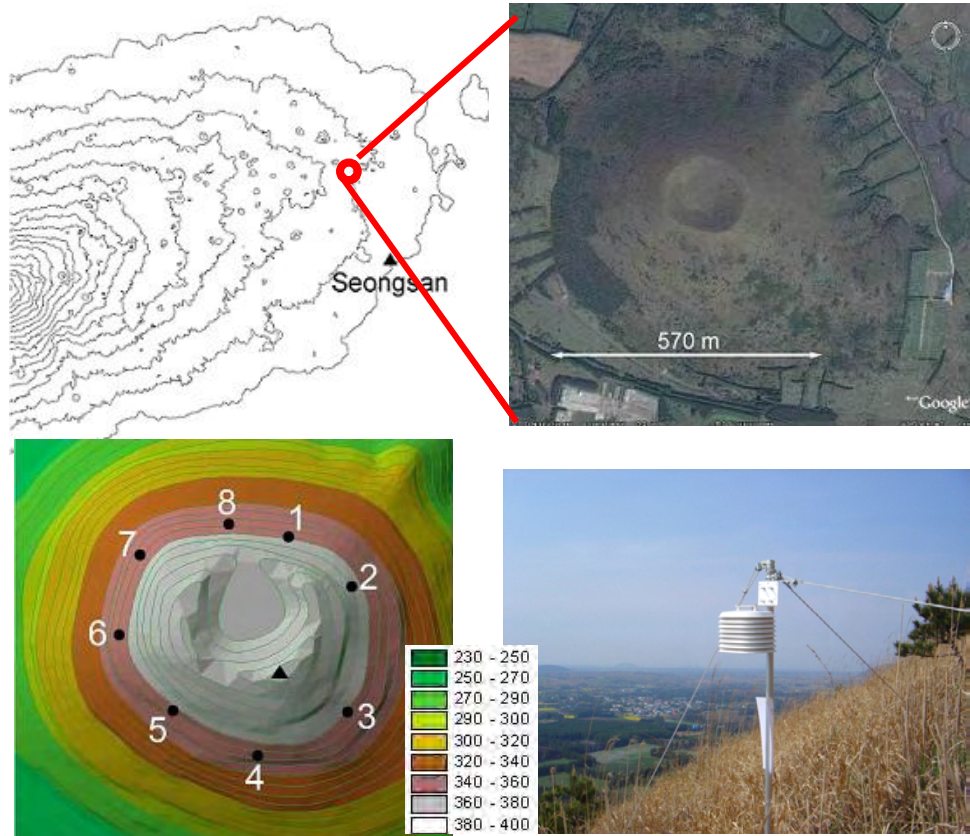


그림 1. 제주도 기생화산(높은오름)의 위치와 기온관측망

기생화산을 원추형으로 간주하면 원추의 밑면은 지름 약 570m의 원이며 밑면에서 꼭지점(정상)까지 고도차는 평균 90m 정도이다. 밑면으로부터 약 70m 높이에 해당되는 기생화산의 측면능선에 방위별로 8개 지점을 선정하여 지표로부터 1.5m 높이에 로거 일체형 온습도계(Model HOB0 H8 Pro, Onset Computer Co., USA)를 설치하였다. 먼저 현지에서 나침반에 의존하여 대략적인 위치에 장비를 설치한 후 위성 측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., USA)에 의해 임시좌표값을 얻고, 추후 기준국 자료에 의해 후처리 보정을 함으로써 정확한 위치좌표를 얻었다. 각 지점에서 2007년 6월 22일(하지)부터 12월 23일(동지)까지 183일간 10분 간격으로 기온을 측정하였고, 일별로 측정된 144개 자료 가운데 가장 큰 값을 일

최고기온으로 간주하였다. 실험장소의 수평면 전천일사량을 측정하기 위해 주변에 장애물이 없는 기생화산의 정상부근에 에플리형 일사계(Model 8-48, Eppley Laboratory Inc., USA)를 설치하고, 데이터로거(Model CR10X, Campbell Scientific., USA)에 의해 1분 간격으로 측정하여 그 때시 적산값을 저장하였다. 관측된 8개 지점의 일 최고기온 산술평균값을 같은 고도의 기준온도(수평면 일 최고기온)로 간주하였다. 각 지점에서 얻은 일 최고기온에서 이 기준온도를 감하여 편차를 얻었다. 국토지리정보원으로부터 실험장소가 포함된 1:5000 수치지형도(도엽번호 33608072)를 구입하여 주곡선 정보로부터 TIN(triangulated irregular network) 표면을 생성하고, 해상도 1m의 DEM(digital elevation model)으로 변환하였다. 이 DEM으로부터 경사도와 경사방향을 계산하였고, 8개 지점에 해당하는 픽셀의 경사향과 경사도자료를 추출하였다. 이들 지형자료와 기준점(정상 부근)의 전천일사량자료를 토대로 각 지점의 시간대별 일사수광량을 계산하였다.

실험 결과 초지피복 조건에서 사면방향에 따른 기온편차 변이는 일사수광량 편차에 근거한 지형특성지수와 높은 상관을 보여 일 최고기온 추정방법 특허를 출원하고 기존모형 개선에 활용하였다(그림 2).

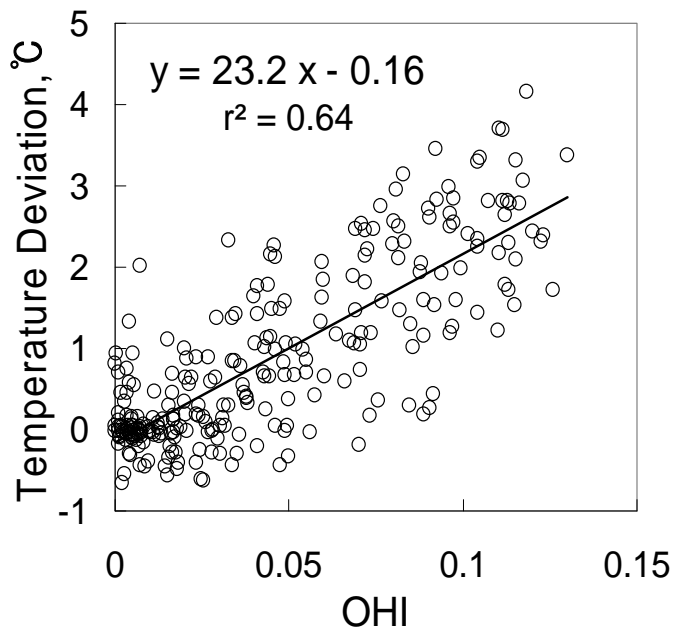


그림 2. 사면방향에 따른 일 최고기온 편차와 지형특성지수(OHI)간 관계

2. 도시열섬효과모형

도시의 규모를 인구의 자연대수로 표현할 경우 도시열섬효과와 직선적인 관계를 갖는 것으로 알려져 있지만 인구조사자료는 행정구역 단위로 얻어지므로 도시열섬효과가 행정경계를 따라 불연속적으로 표현되는 등 공간적 변이를 표현하는 데 한계가 있다. 경희대 연구팀은 인구와 도시피복을 동시에 고려한 수치인구모형(digital population model, DPM)을 도시열섬효과의 대체변수(proxy)라고 가정하고, 경험적으로 얻은 기온편차와의 관계식을 기온보정에 적용할 수 있다고 보고하였다(Choi *et al.*, 2003). 이들의 방법에 의하면 “열섬효과”의 크기는 DPM의 자연대수로 표현할 수 있으므로 Inverse distance weighting (IDSW)에 의한 기온의 내삽모형은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left[z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma + \left[P - \frac{\sum \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Pi \quad \text{-----} \quad (3)$$

T_i : observed temperature at station 'i',

d_i : distance from the site to station 'i',

z : elevation of the site

z_i : elevation of the station 'i'

Γ : temperature change per unit change in the elevation

P : population of the site expressed as a logarithm of DPM

P_i : population of the city (in a logarithm of DPM) where station 'i' locates

Π : an empirical conversion coefficient for urban heat island effect

이 방법을 전국에 적용하기 위해 수치인구모형(DPM)을 전국 대상으로 작성하였다. 위성자료에 근거하여 1990년대 전국의 지표피복(시가지, 농지, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역)을 30m×30m의 정방형 격자 단위로 분류한 “대분류” 지표피복도(환경부 환경지리정보서비스, <http://egis.me.go.kr>)를 확보하고, 이 시기의 국토면적 가운데 도

시에 해당되는 지역만 발췌하기 위해서 피복분류상 ‘시가지’에 해당되는 픽셀만을 추출하였다. 서울과 같은 대도시 지역이라도 녹지나 삼림은 제외되고 순수하게 주거지역, 상업지역, 도로 등 도시열섬효과를 유발할 수 있는 지역만이 해당된다. 다음에는 1990년의 인구를 1971년-2000년 기간의 평균인구로 삼아 시·군별 인구자료(통계청 통계지리정보시스템, <http://sgis.nso.go.kr>)를 수집하여 서울특별시와 6대 광역시(부산, 울산, 대구, 대전, 인천, 광주), 그리고 시·군 단위로 정리하였다. 시·군으로 정리된 인구를 각 시·도의 홈페이지에 나와 있는 연혁을 참고하여 2000년의 행정구역에 맞춰 다시 정리하고, 행정자치부에서 작성한 시·군 행정구역수치지도에 속성정보로 부가하였다.

지표피복도의 ‘시가지’ 피복 위에 행정구역수치지도를 중첩시키고 해당 시·군 면적에 포함되는 시가지 픽셀(30m×30m)을 계수하였다. 1990년의 시·군 인구를 해당 시가지 픽셀 수로 나누어 시가지 픽셀 하나 당 평균 인구 즉 “시가지인구밀도”를 시·군별로 계산하였는데, “시가지인구밀도”는 각 시·군구별로 하나씩 고유의 값을 갖는다. 다시 ‘시가지’ 피복 위에 시·군구 행정구역지도를 중첩시키고 시·군 행정구역의 속성정보인 “시가지인구밀도”를 곱해줌으로써 한반도에서의 실제 인구 분포를 DPM 값으로 바꾸어 표현하였다. DPM은 농경지, 산림, 하천, 호수는 물론, 도시 안의 초지나 나대지 등도 제외하고 실제 사람이 살고 있는 지역을 대상으로 평균인구를 30m 간격의 픽셀로 나타낸 것인데, 계산편의를 위해 이들 평균인구 픽셀 9개씩을 묶어서 90m×90m 픽셀로 변환하였다. 도시열섬효과는 중심점의 인구뿐 아니라 주변 픽셀들의 인구에 의해서도 영향을 받을 것이므로 반경 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 5.0 km 이내의 DPM을 평활화 하여 이들과 도시효과 간의 관계를 탐색하였다(그림 3).

기상청 표준기상관측소 가운데 제주도 등 도서지방 소재 관측소를 제외하고 1971-2000년 자료를 보유한 56개 기상관서를 선별하여 정확한 위치좌표를 수집하였다. 이들 가운데 무작위로 25개를 선택하여 관측소가 포함된 픽셀의 DPM을 반경별로 1개씩 추출하고 이를 “실제인구”로 간주하였다. 이들의 IDSW 내삽에 의해 “가상인구” 분포도를 생성하였다. 나머지 31개 기상관서가 위치한 픽셀의 가상인구와 실제인구 간 차이를 “인구편차”로 간주하였다. 25개 지점의 일 최고/최저기온자료를 수집하여 월별로 평균값을 계산한 다음, IDSW 내삽에 의해 270m 해상도의 격자형 수치기온자료로 변환하였다. 이 자료로부터 31개 기상관서가 위치한 픽셀의 추정기

온값을 추출하고 실측값과의 편차 즉 “추정오차”를 얻었다. 이 추정오차를 인구편차에 회귀시켜 최적회귀모형을 도출하였다.

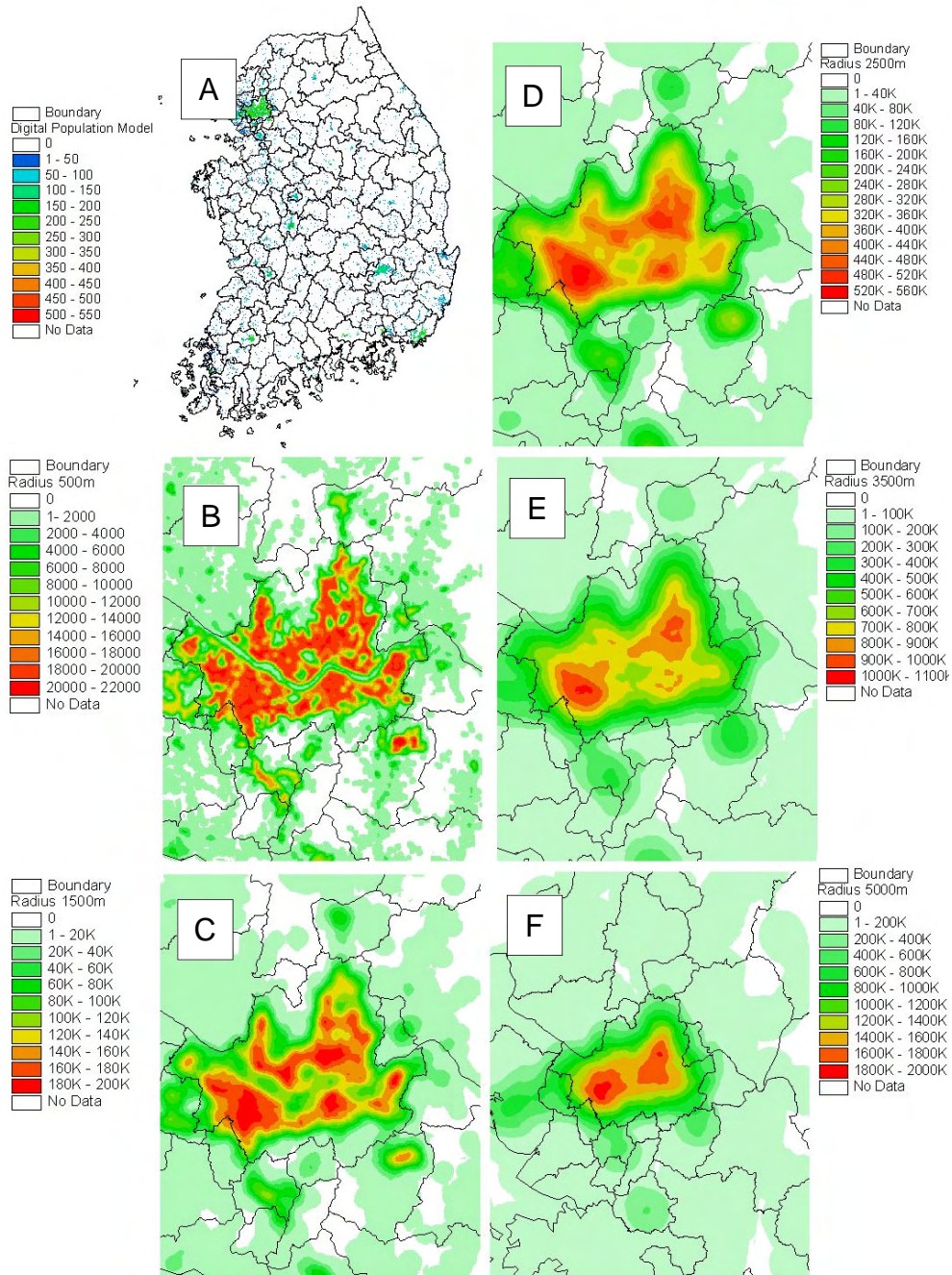


그림 3. 도시열섬효과의 대체변수로서 수치인구모델(DPM)의 전국분포(A) 및 수도권 분포(B-F). 수도권의 경우 반경 500m(B)에서 5,000m(F) 까지 확장 영역의 평균값을 그림으로 표출하였음

3. 냉기유입모형

일 최저기온의 경우 지표면의 복사냉각에 의해 일정 높이까지는 오히려 상층으로 갈수록 기온이 높아지는 소위 기온역전현상이 생기는데, 만약 관측지점이 평지가 아니라 찬 공기가 흘러들어오는 낮은 지역에 있다면 기온은 더욱 떨어진다(그림 4의 D). 표준기상관측소의 노장은 의도적으로 찬 공기가 흘러들어오지 않는 평지에 설치되므로 이러한 냉기집적효과는 거의 없다고 가정할 수 있다(그림 4의 C). 이러한 곳의 관측값을 기존의 고도차보정방법으로 추정할 경우 아래쪽은 냉기집적에 의한 오차(ε_1)를 갖게 되고, 위쪽은 온난대 효과만큼 오차(ε_2)를 갖게 된다. 이것을 역시 IDSW 내삽모형으로 표현하면,

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left(z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right) \Gamma - \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \text{----- (4)}$$

이 된다(Chung *et al.*, 2006). 여기서 T_i 는 지점 'i'의 실측 기온, d_i 는 내삽지점으로부터 관측점 'i'까지의 거리, z 및 z_i 는 각각 내삽지점과 관측점 'i'의 해발고도, Γ 는 해발고도에 따른 기온감율, ε_1 과 ε_2 는 각각 냉기집적효과와 온난대효과로서 다음 경험식에 의해 추정할 수 있다.

$$\varepsilon_1 = \alpha \left(\frac{R}{R_{\max}} \right) \log_{10} \beta \quad \text{----- (5)}$$

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{R}{R_{\max}} \right) \cdot I_{\max} [1 - \exp\{-0.03(Z - Z_1)\}] \quad \text{----- (6)}$$

여기서 α 는 경험상수, β 는 냉기유입량(cold-air accumulation potential), R 은 일교차, R_{\max} 는 주어진 집수역에서의 일교차 최대값이다. 온난대 효과에 의한 온도상승분의 최대값(I_{\max})은 편의상 당일 기온 일교차의 상대비율에 직선적으로 비례한다고 가정한다. z_1 은 온난대효과가 나타나기 시작하는 고도로서 200~300m로 알려져 있지만

정확한 값은 테더존데, SODAR-RASS, Microwave Temperature Profiler 등 경계층 관측장비를 이용한 야간경계층 관측에 의해 찾아낼 수 있다.

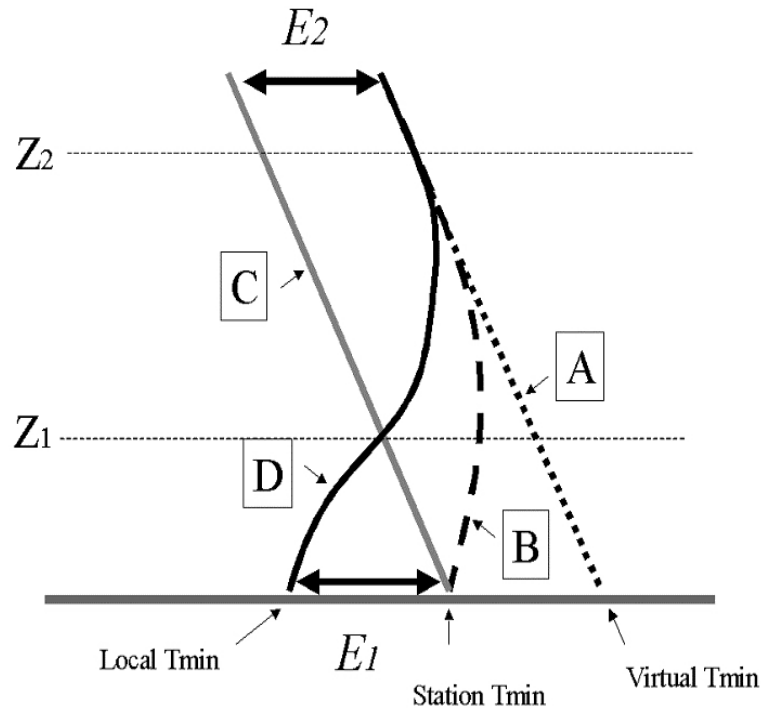


그림 4. 국지적인 일 최저기온 형성에 미치는 온난대효과(E_2)와 냉기유입효과(E_1) 모식도

이 모형은 집수역 단위로 적용해야 하며 임의 격자점에 유입되는 냉기 집적량은 수치지형도로부터 계산할 수 있다. 기온장비가 설치된 여러 지점에 대해 실측 최저기온과 인근 기상대 관측자료 사이의 차이를 각 격자점의 CAP에 회귀시키면 식 (5)의 경험상수(α)를 도출할 수 있다.

모형의 모수를 추정하기 위해 좁은 지역임에도 지형특성의 변이폭이 큰 강원도 평창군 도암댐유역을 실험지역으로 선정하였다(그림 5). 서로 다른 지형특성을 가진 지점에 기온장비를 설치하기 위하여 국토지리정보원으로부터 실험장소가 포함된 1:5000 수치지형도를 구입하여 주곡선 정보로부터 TIN 표면을 생성하고, 해상도 10m의 DEM으로 변환하였다. 이 DEM으로부터 경사도와 경사방향을 계산하였다. 해발 800m 정도의 비슷한 고도와 서로 다른 경사방향, 지표피복을 고려하여 선정된 7개 지점(표 1)에 지표로부터 1.5m 높이에 집록기 일체형 온습도계(Model HOBO

H8 Pro, Onset Computer Co., USA)를 설치하였다. 현장방문 시 1:25,000 종이 지형도를 이용하여 대략적인 위치에 장비를 설치한 후 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., USA)에 의해 임시좌표값을 얻고, 추후 기준국 자료에 의해 후처리 보정을 함으로써 각 지점의 정확한 위치좌표를 얻었다.

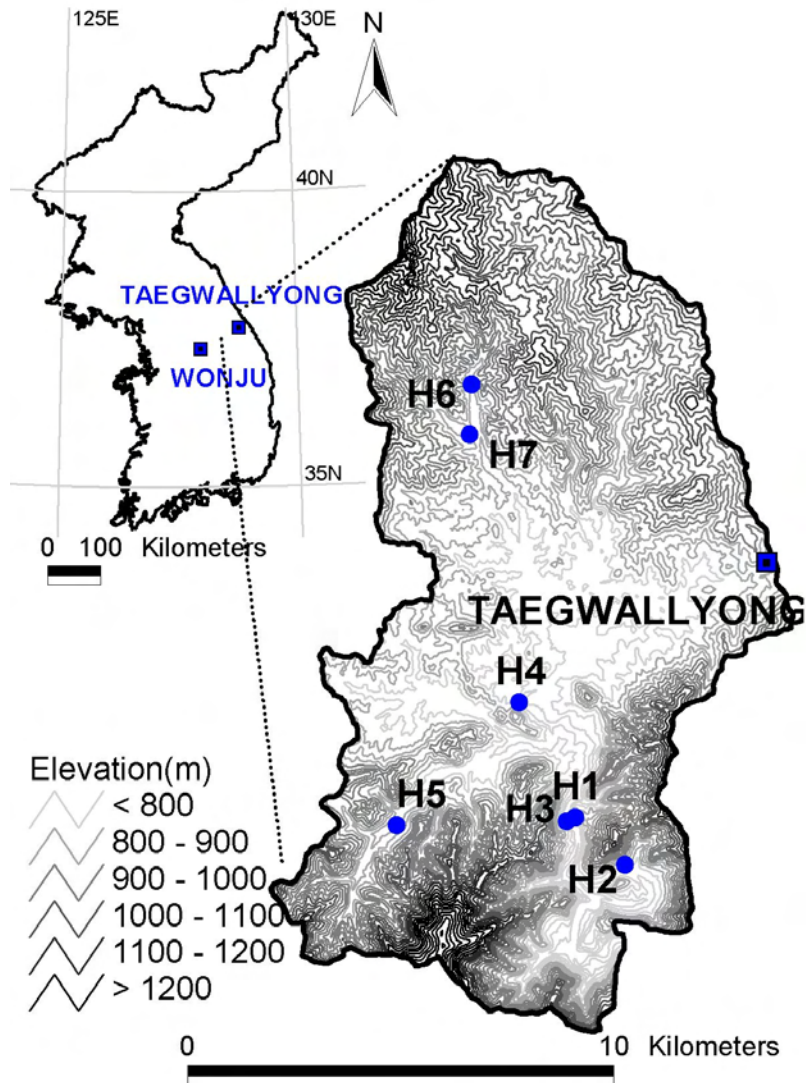


그림 5. 일 최저기온모형의 모수도출을 위한 도암댐유역 기온관 측망과 주변 지형특성

각 지점에서 2006년 7월 26일부터 2008년 5월 23일까지 10분 간격으로 기온을 측정하였고, 일별로 측정된 144개 자료 가운데 가장 큰 값을 일 최고기온, 가장 작은 값을 일 최저기온으로 간주하였다.

표 1. 도암댐 지역의 기온관측지점별 고도, 경사향, 경사도

SITE #	Elevation (meter)	Aspect (degree)	slope (degree)
1	782	261(W)	10
2	749	142(SE)	13
3	810	324(NW)	10
4	768	204(SW)	16
5	840	87(E)	5
6	833	135(SE)	1
7	825	5(N)	9

기상 관측지점에 유입되는 냉기 집적량(Cold-air Accumulation Potential, β)은 이 지역의 1:5,000 수치지형도로부터 10m 해상도의 DEM을 제작하여 계산하였다. 기온장비가 설치된 7개 지점을 포함하는 격자점을 동정하고, 실측 최저기온과 대관령기상대 관측자료 사이의 차이를 각 격자점의 CAP에 회귀시켜 식 (5)의 경험상수(α)를 도출하였다. 이 때 각 격자점의 CAP는 찬 공기가 흘러들어오는 면적을 달리하기 위해 격자점 주변 반경을 1~10개로 조정하면서 계산하였다.

야간 경계층의 기온연직구조를 직접 관측하여 온난대의 높이와 기온역전 강도의 변화를 알기 위하여 2007년 5월부터 2008년 4월까지 1년간 도암댐유역 고령지농업연구소 옥상에 초단파 연직온도측정장비(Model MTP5H, Kipp and Zonen)를 설치하였다. MTP5H는 지면으로부터 600m까지 50m 간격으로 기온의 연직분포를 측정할 수 있다. 설치 후에는 측정자료의 신뢰성을 확보하기 위해 테더존데(Model TT12 DigiCORA., Vaisala)에 의해 계절별로 병행관측을 수행하였다.

MTP5H에 의해 얻은 기온연직구조와 같은 시간 대 테더존데에 의해 측정된 기온 분포를 비교해 보면 MTP5H 장비의 신뢰성을 확인할 수 있다(그림 6).

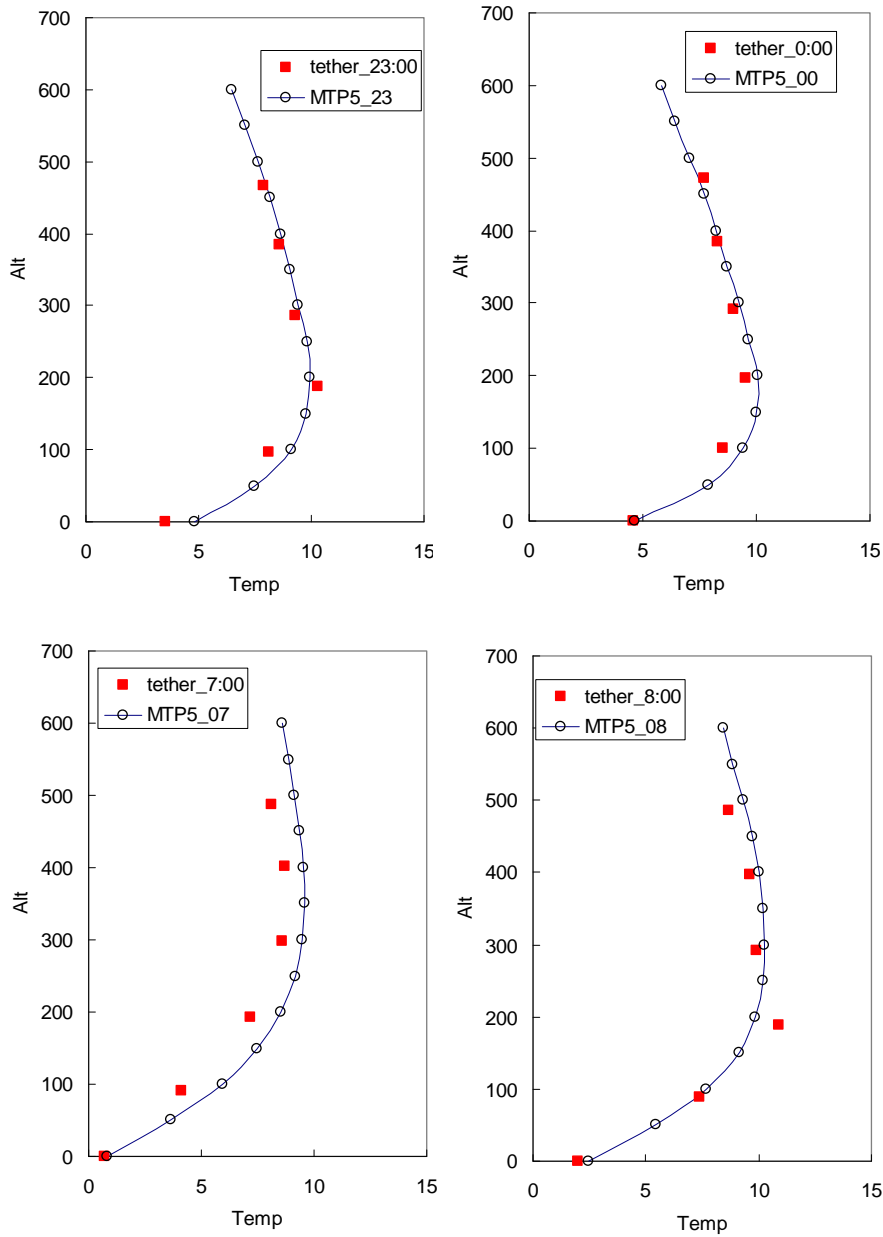


그림 6. 고령지농업연구소 옥상에 설치된 MTP5H 장비에 의해 추정된 경계층 야간온도연직구조. 비교를 위해 테더존데에 의해 같은 시간대 실측한 층위별 온도를 중첩하였음

대관령의 MTP5 자료 가운데 전운량 0.3 이하의 맑은 날만 발췌하여 같은 시간대 별로 평균을 구하고 이를 월별로 정리하였다. 계절별 특징을 보여주기 위해 2007년 5, 9, 11월 및 2008년 2월 자료를 그림 7에 표시하였다. 역전강도(inversion strength)의 월별 평균값은 11월과 2월에 8.8℃, 5월 6.3℃, 9월 5.3℃로 맑은 겨울철 역전강도가 더 강하게 나타났다. 역전강도의 최대값이 관측된 사흘은 13.3, 12.3, 12.1℃로 평균 12.6℃였고, 소위 온난대는 계절에 관계없이 300~350m 부근에서 생성되었다.

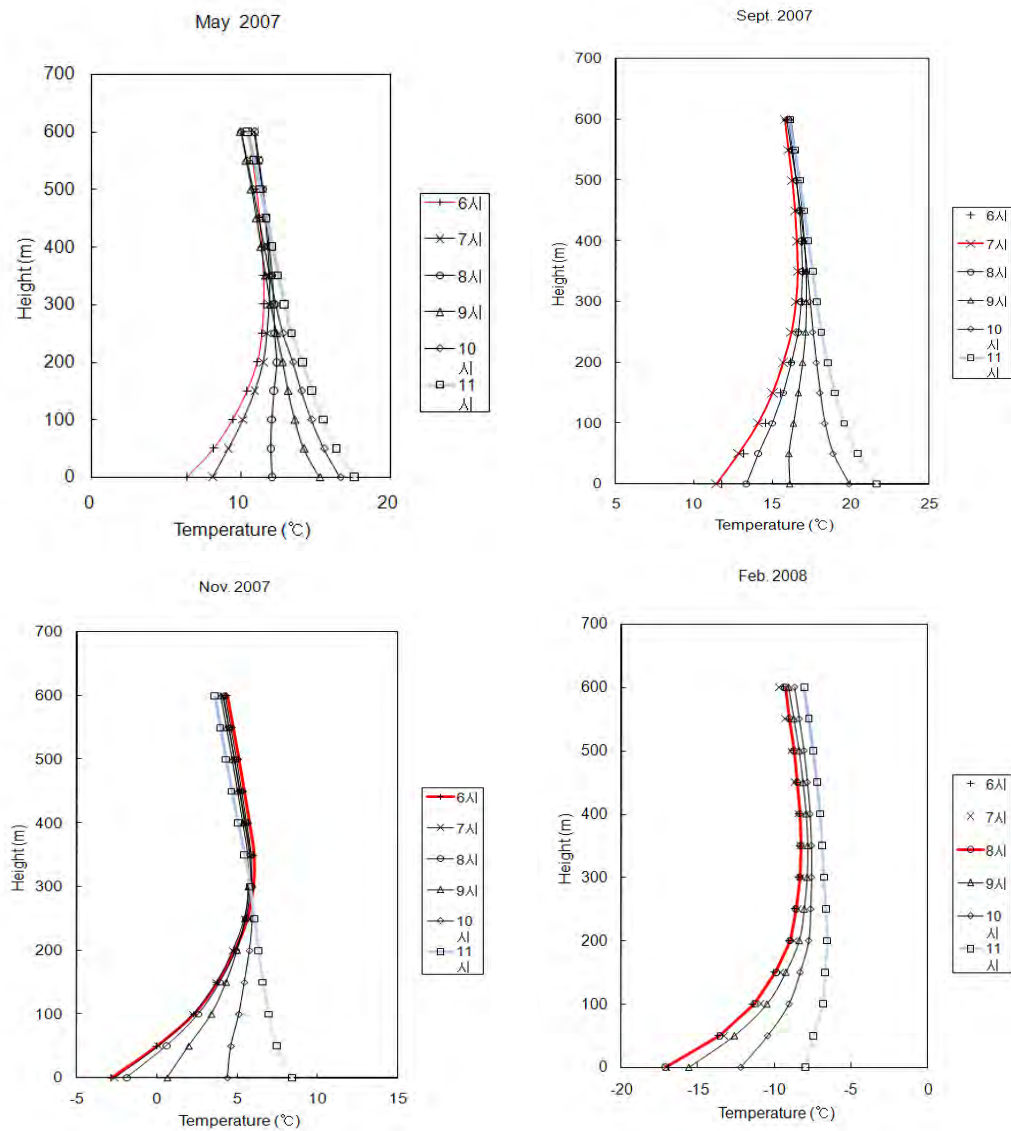


그림 7. 도암댐 유역 일 최저기온 발생시점 전후의 경계층 온도연직구조

4. 바다효과모형

바다는 지역의 기온에 큰 영향을 미치며 그 효과는 해안으로부터 멀어질수록 감소하는 것으로 알려져 있다. 이러한 바다효과를 전자기후도 제작에 반영하기 위해서는 먼저 정량적인 모형의 도출이 필요하다. 남한 전역의 65개 표준기상관측지점에서 25개 지점을 무작위로 선택하였다(그림 8).

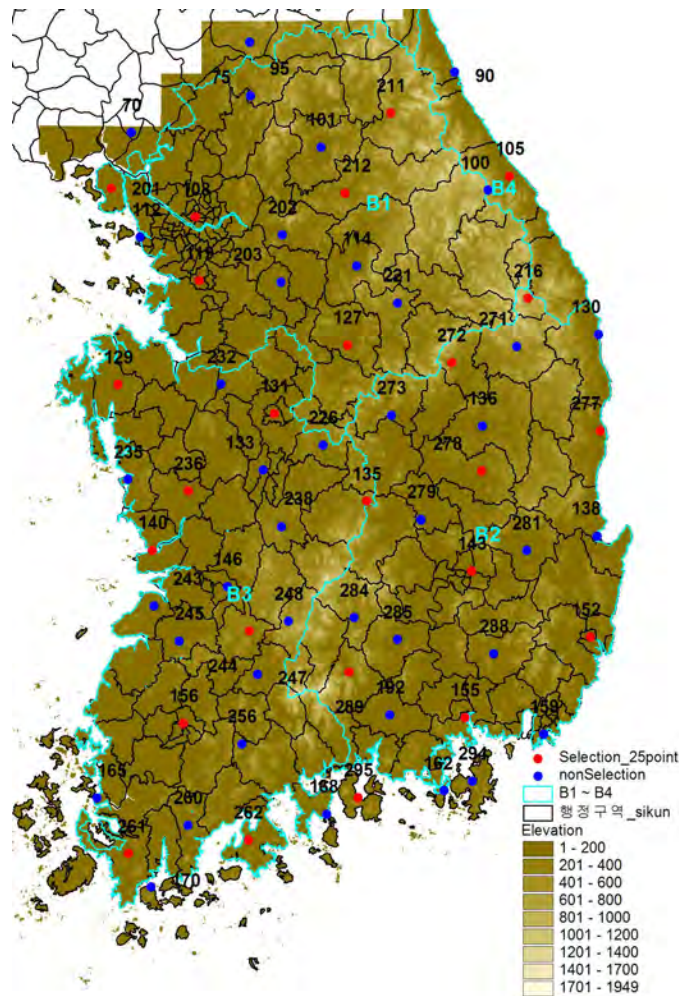


그림 8. 남한 전 지역의 표준기상관측지점 중 무작위 선택된 25개 지점과 나머지 40지점의 위치

선택 지점의 1981-2010년간의 월별 평균 일 최고, 최저기온을 이용하여 나머지 40개 지점의 기온을 추정하였다. 추정치와 실측치 간 편차를 각 지점의 해안으로부터의 거리와 대응시키고 그 관계를 함수식으로 표현하였다. 이 때 해안에 인접한 관

측소에서 얻은 기온값에는 이미 바다 효과가 포함되었으므로 단순히 해안으로부터의 거리(D1)와 기온편차간 회귀식을 구할 경우 관측소 부근 지역은 오히려 오차가 커지게 된다. 따라서 내삽 지점으로부터 가장 가까운 기상관측소까지의 거리(D2)의 자승에 반비례하는 관계를 추가하여 기상관측지점에 가까워질수록 기온보정값이 작아지도록 하였다.

$$\varepsilon = a \cdot X + b, \quad X = \left(\frac{D1}{(D2)^2} \right) \times 10^6 \quad \text{----- (7)}$$

여기서 a와 b는 회귀계수이며, D2가 0일 경우 기온보정값은 0이다. 회귀식은 1월부터 12월까지 월별 평년 최고 및 최저기온에 대해 각각 작성하였다.

최저기온의 경우 전반적으로 오차와 해안거리 간 상관성이 나타나지 않는데, 범위를 해안으로부터 거리 10km 이내로 좁히면 겨울철에 바닷가에 가까울수록 실제보다 기온이 낮게 추정되는 것을 알 수 있다(그림 9). 여름으로 갈수록 최저기온이 과소 추정되는 현상은 점차 약화되어 6, 7월에는 전혀 상관관계가 없었다. 이와 반대로 최고기온의 경우 여름철에 해안으로부터 거리가 가까울수록 추정값에 비해 실제 기온이 낮은 것으로 나타났다. 겨울로 갈수록 과대 추정되는 양상이 줄어들어 11월 - 2월 동안에는 아무런 상관관계도 나타나지 않았다. 특히 최고기온은 해안가 부분에서만 기온 추정오차가 크게 나타나 바다 효과를 보정함으로써 모형의 완성도를 크게 높일 수 있음을 보여준다.

해안으로부터의 거리 10km 미만 지역에 해당하는 표준기상관측지점을 선발하고 식 (7)의 형태로 회귀식을 도출하였다. 최저기온의 경우 속초와 장흥에서 1월부터 12월에 걸쳐 기온오차가 0.5℃ 이하로 나타났는데, 이들 지점은 해안 효과가 나타나지 않은 것으로 간주하고 제외하였다. 기상관측지점의 최저기온오차에 절대값을 취했을 때, 식 (8)과 같은 형태의 지수함수적인 양상을 나타내었다(그림 10). 해안 효과가 최저기온에 영향을 미칠 수 있는 시기는 1월부터 4월, 9월부터 12월까지로 판단하였다. 최고기온오차도 최저기온과 마찬가지로 지수함수적인 양상을 보였으며, 4월부터 8월까지 바다 효과가 작용하는 것으로 판단하고 보정값(S)은 회귀계수 α 와 β 및 식 (7)의 X값에 대한 지수함수로 표현하였다(그림 11).

$$S = \alpha \cdot e^{\beta \cdot X} \quad \text{----- (8)}$$

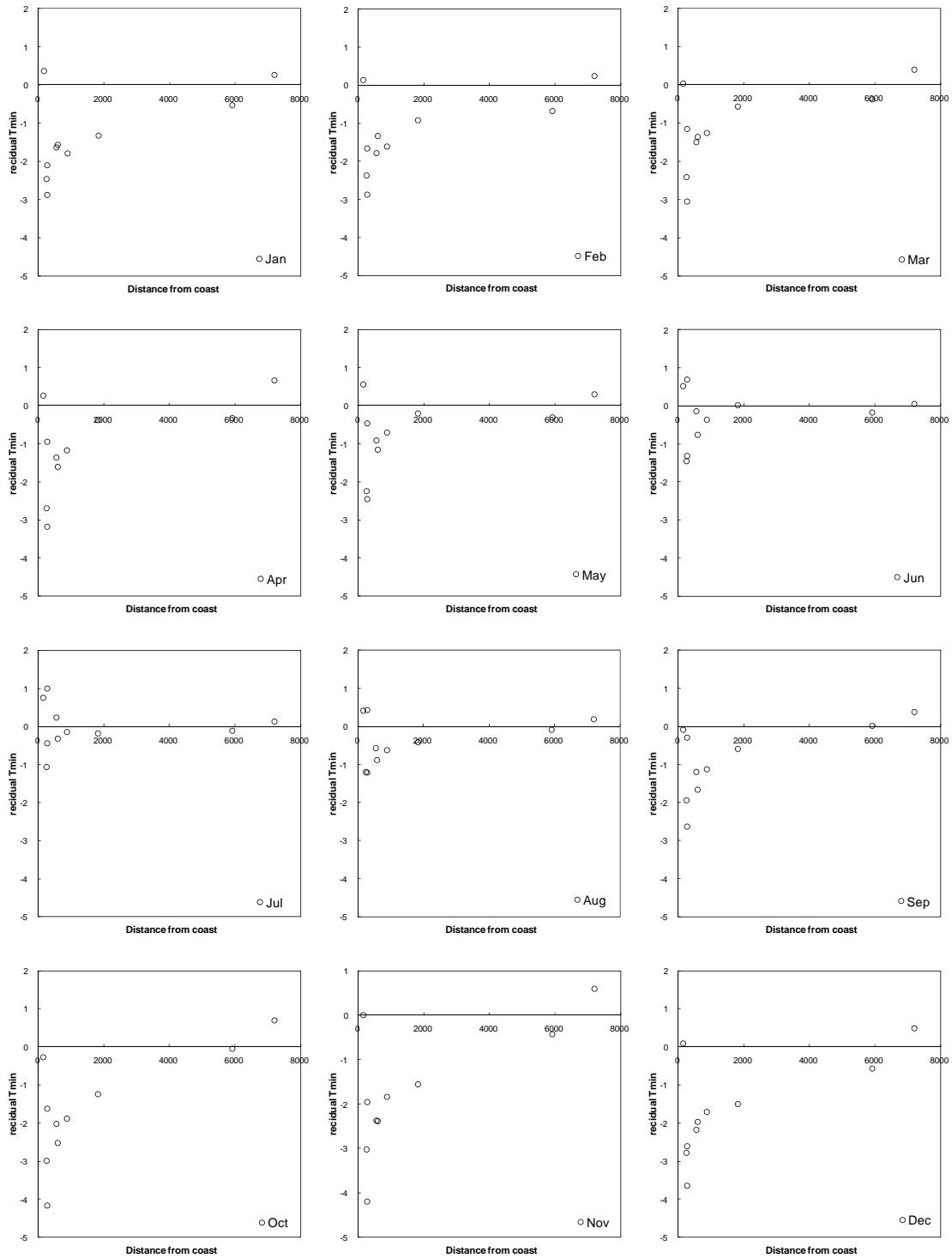


그림 9. 해안거리 10km 이내 지역에서 관찰된 기온추정오차(일 최저기온)

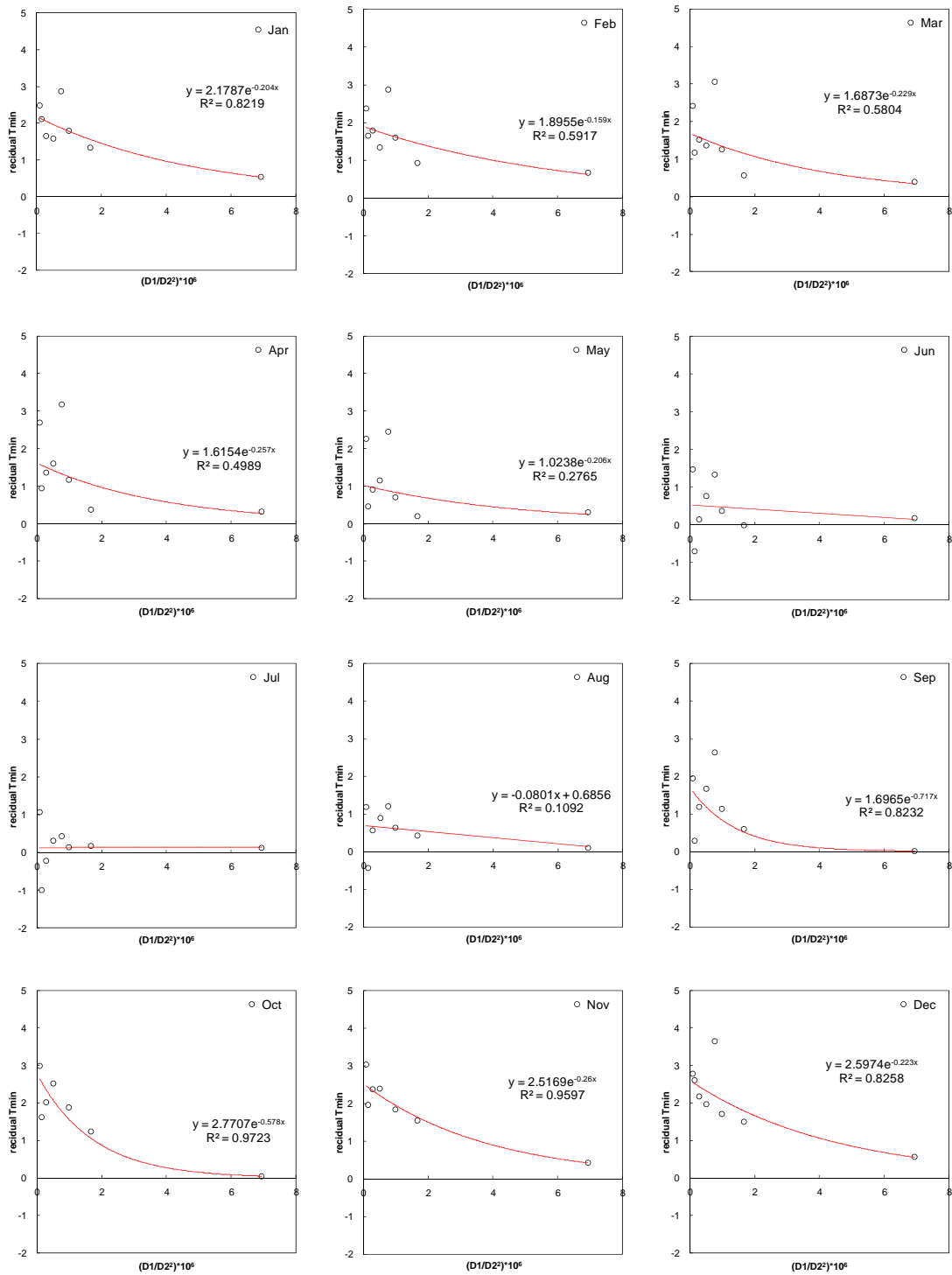


그림 10. 일 최저기온에 미치는 바다효과

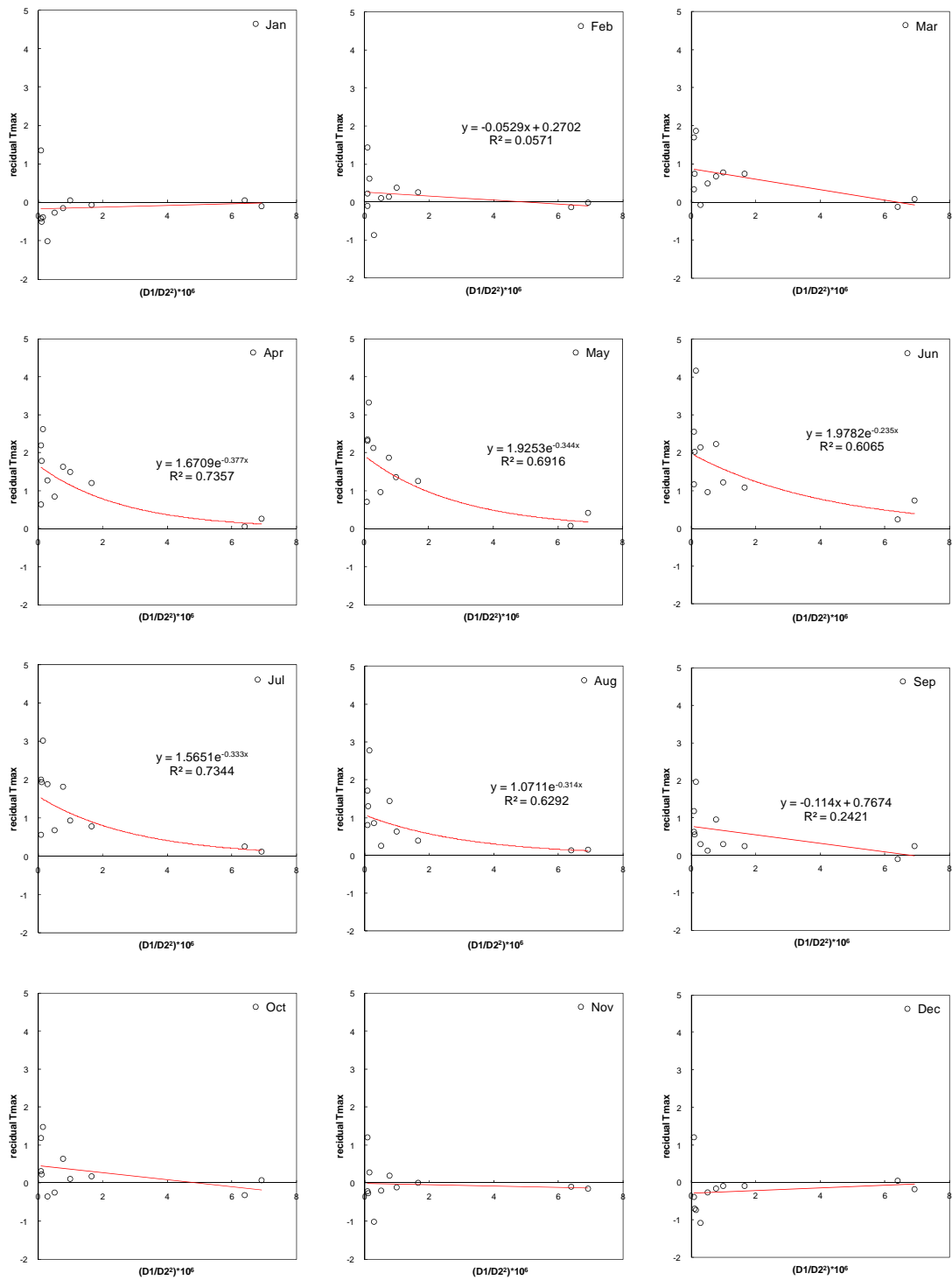


그림 11. 일 최고기온에 미치는 바다효과

5. 기온기후도 제작

가. 분토

56개 기상관서 실측자료에 근거한 일 최고기온 및 최저기온의 1971-2000 및 1981-2010 평년 월별 평균자료를 준비하였다. 소기후모형의 적용이 가능한 집수역의 구분은 한국수자원공사의 표준유역지도(www.wamis.go.kr)를 이용하였고(그림 12), 각 집수역의 공간정보는 환경부의 DEM, 지표피복, 농업과학기술원의 토양전자지도, 산림과학원의 임상도를 활용하였다. 남한전역을 구성하는 총 840개 표준유역 중 도서 지역, DMZ 등을 제외한 770개에 대하여 고도편차효과, 도시열섬효과, 냉기유입효과, 사면일사효과 등을 감안한 소기후모형을 각각 적용하여 평년의 월별 일 최고, 최저기온 분포를 30m 해상도로 제작하였다. 이때 고도차에 따른 월별 기온감률은 4 대강과 산맥 분포를 고려하여 4개 권역으로 나누고(그림 13), 각 권역에 포함된 중관기상관측소자료를 이용하여 도출하였다(표 2).

제작된 기온기후도에 바다효과를 반영하기 위해 먼저 30m 해상도의 수치고도모형(DEM)으로부터 해안 경계선을 추출하고, 임의 격자점의 해안으로부터의 거리($D1$) 및 표준기상관측소까지의 거리($D2$) 분포도를 작성하였다(그림 14). 바다효과가 현저한 것으로 밝혀진 1월부터 4월, 9월부터 12월까지 최저기온과 4월부터 8월의 최고기온에 한하여 앞서 선발전 회귀식에 의해 보정값 분포도를 작성하였다.

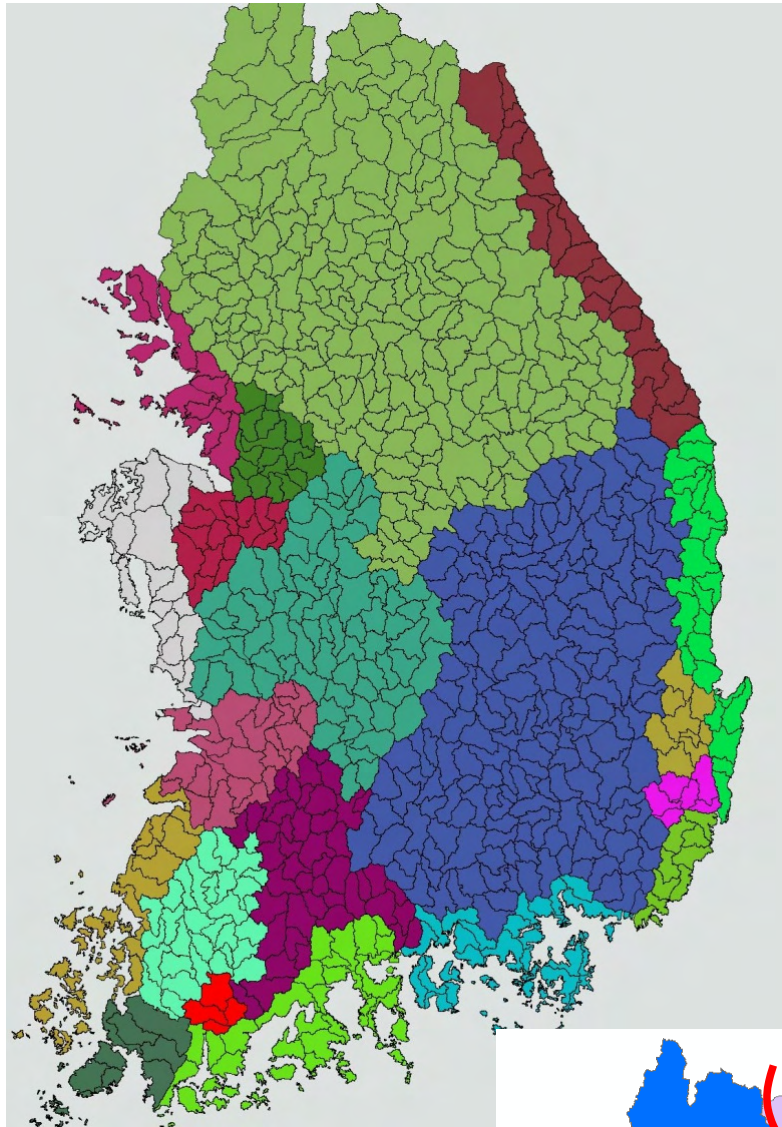


그림 12. 남한 전국 표준유역도

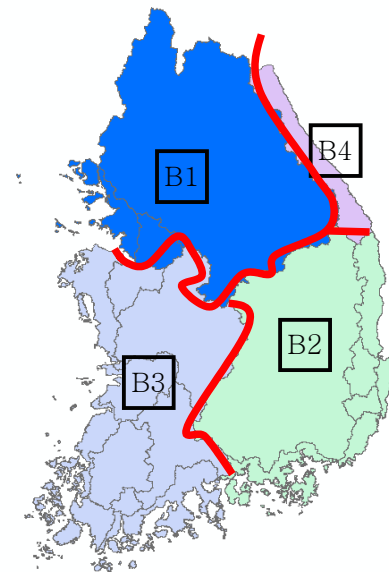


그림 13. 기후권역 구분도

표 2. 전국 권역별 기온감율

	일 최고기온				일 최저기온			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
1월	0.0057	0.0074	0.0039	0.007	0.0053	0.0059	0.0068	0.008
2월	0.0069	0.0080	0.0042	0.007	0.0059	0.0065	0.0067	0.0077
3월	0.0084	0.0088	0.0042	0.0072	0.0055	0.0056	0.0059	0.0063
4월	0.0071	0.0069	0.004	0.0055	0.0052	0.0054	0.0072	0.0063
5월	0.0069	0.0065	0.0053	0.0051	0.0058	0.0054	0.0067	0.0065
6월	0.0078	0.0059	0.0062	0.0048	0.0068	0.0066	0.0064	0.0057
7월	0.0077	0.0064	0.0066	0.0057	0.0064	0.0066	0.0068	0.0056
8월	0.0083	0.0072	0.0072	0.0063	0.0063	0.0066	0.0076	0.0059
9월	0.0084	0.0074	0.0062	0.0069	0.0066	0.0069	0.0082	0.007
10월	0.0070	0.0076	0.0054	0.0066	0.0055	0.0061	0.0099	0.0072
11월	0.0061	0.0069	0.0041	0.0068	0.0046	0.0049	0.0081	0.0069
12월	0.0052	0.0068	0.0038	0.0069	0.0047	0.0044	0.0076	0.0073

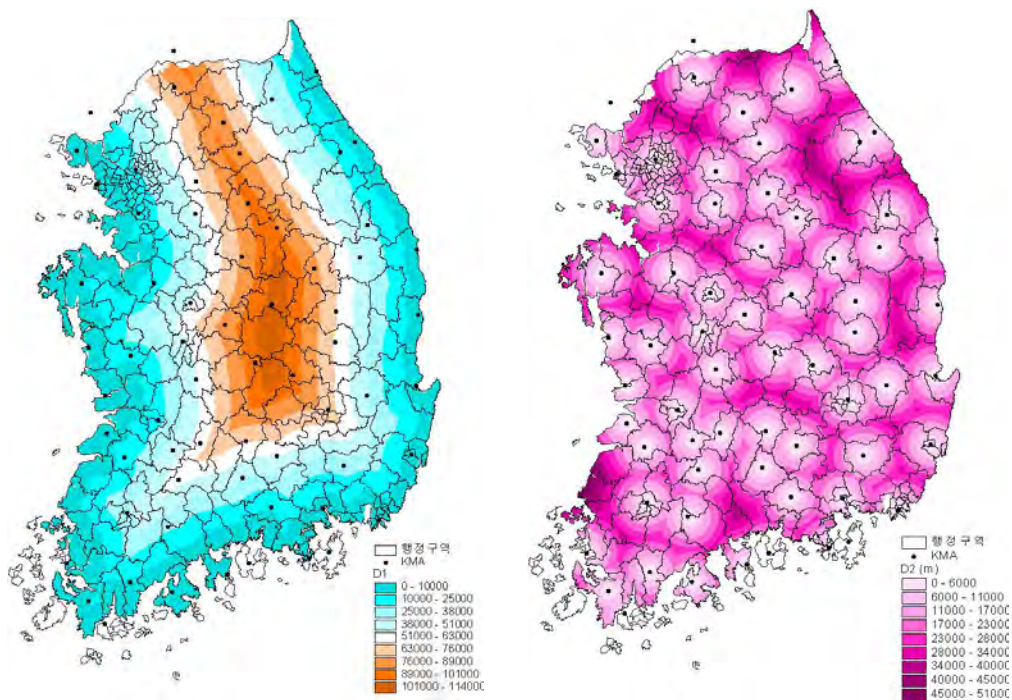


그림 14. 남한 전체 지역에서 임의 격자점에 대한 해안으로부터의 거리(좌)와 표준기상관측소까지의 거리(우)

이렇게 해서 제작된 집수역별 기온분포도는 30m 해상도의 격자점으로 이루어져 있는데, 분수령을 기준으로 770개 집수역을 모두 접합시켜 남한 본토 단일분포도로 합성하였다.

나. 도서지역

앞서 제작된 최고 및 최저기온기후도는 섬 부분이 제외된 본토를 대상으로 한 것이다. 때문에 섬 지역 기온기후도를 다음 방법에 의해 추가하였다.

전자기후도 제작을 위해서는 표준기상관측소의 지리적 위치와 기온자료를 기반으로 IDSW 내삽을 통해 배경기후도를 먼저 준비한 다음, 표고편차 보정 및 지표특성에 따른 보정을 실시한다. 표준기상관측소가 거의 없는 섬 지역에 대해서는 배경기후도 제작을 위해 무인기상관측소(AWS) 자료를 이용해야 한다. 섬 분포와 AWS가 설치된 지점을 고려하여 그림 15와 같이 5개 구역으로 분할하되 한 구역 내에는 반드시 표준기상관측지점이 1곳 이상 포함되도록 하였다. AWS로 측정된 기온자료는 대부분 1990년대 후반 이후부터 축적되었으므로 평년에 대한 배경기후도를 작성하기 위해서는 30년치에 해당하는 기온값을 추정해야 한다. 이 문제는 인근 표준기상관측소 실측값과 일대일로 대응시킨 회귀식을 만들어 해결하였다. 물론 AWS는 건물옥상에 설치되는 등 표준기상관측소와는 다른 관측여건에 있는 것이 보통이므로 다소의 추정 오차는 감안해야 할 것이다. 그림 15에서 나눈 해안가 표준기상관측소 2000-2007 실측 기온자료를 X축으로 두고, 74개소의 AWS 기온자료를 Y축으로 둔 다음, 각 AWS 지점별 최적회귀식을 도출하였다. 이때 일자료는 월별로 분리하여 AWS 지점마다 1월부터 12월까지 기온 추정식을 각각 만들었다(그림 16). 도출된 회귀식을 이용해 섬 지역에 위치한 각 AWS지점에 대해 1971-1999년간 매일의 최고 및 최저기온을 추정한 다음 이를 월별 평년 값으로 변환하였다. 이 자료와 8개소의 바닷가 표준기상관측소 기온자료로 1971-2000년과 1981-2008년의 배경기후도를 작성하였다.

섬 지역의 DEM을 유역단위로 준비하고 유역이 구분되지 않은 섬도 일부 포함시켰다. 섬 지역에서 측정된 기온자료에는 이미 해양의 효과가 충분히 반영된 것으로 볼 수 있으며, AWS 지점은 표준기상관측지점보다 훨씬 조밀하기 때문에 해안지대

에 적용했던 바다효과모형을 섬 지역에는 적용하지 않았다. 나머지 기온기후도 제작방식은 본토와 동일하게 진행하였다.

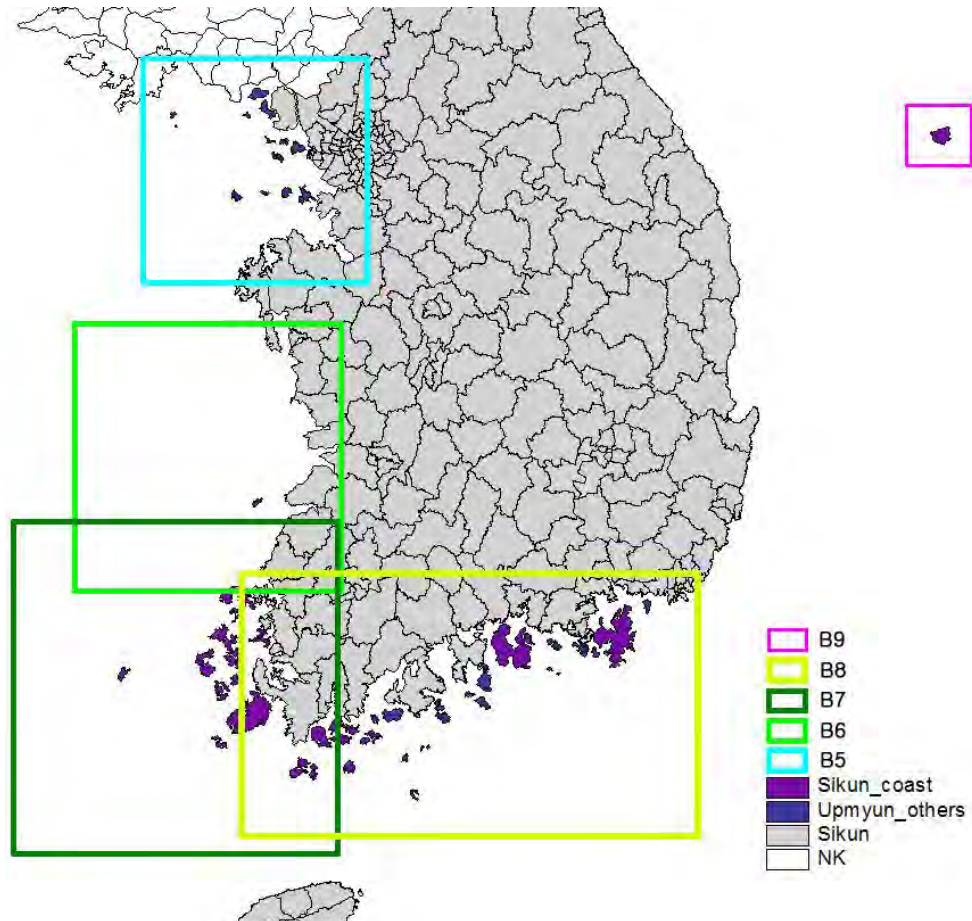


그림 15. 도서지역 배경기후권역의 구분도

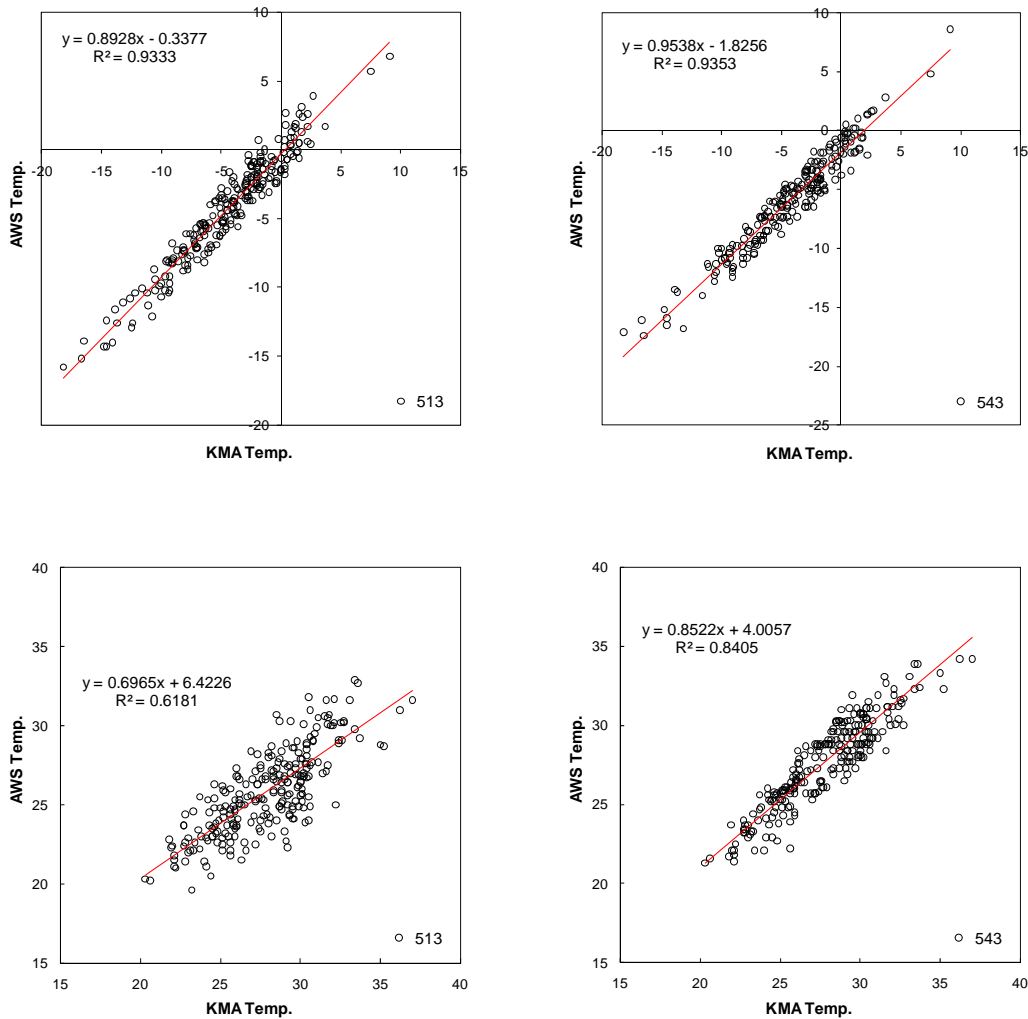


그림 16. 인근 표준기상관측소와 AWS 지점 간 실측기온의 상관. 경기도 해안지역 AWS 513 및 543의 7월 일 최저기온(상단), 일 최고기온(하단)

제주도의 경우 한라산을 가운데 두고 집수역이 모두 바다를 향해 사방으로 펼쳐 지는데 집수역 4곳의 하부 해안에는 표준기상관측소가 자리잡고 있다(그림 17). 자동기상관측소 운영은 주로 2000년대에 이르러 시작되었으므로 인근 표준기상관측지 점과 AWS 간의 기온자료를 일대일로 비교하여 일차 회귀식을 도출, AWS 지점의 과거 기온자료를 추정하였다. 표준기상관측소 4지점과 잔디 피복의 중문(328), 유수 암(727), 가시(792), 식생 피복의 진달래밭(870), 윗세오름(871) 등에 대해 1971-2008 년 기간 기온자료를 준비하였다.

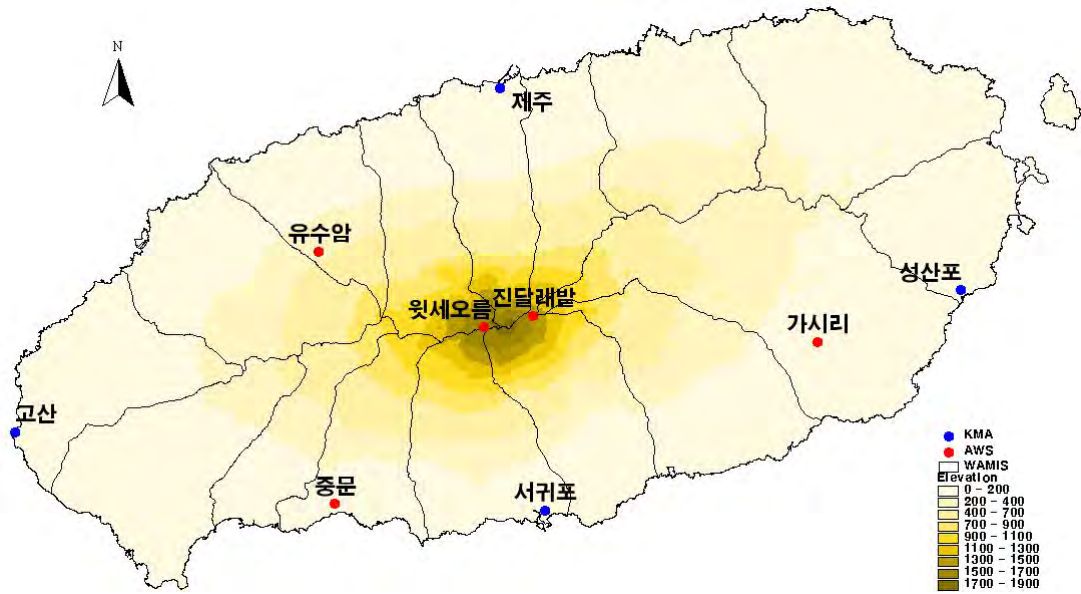


그림 17. 제주도의 16개 집수역 위에 표시된 표준기상관측소(KMA, 4개)와 자동기상관측소(AWS, 5개)의 위치

제주도의 표준기상관측지점은 해발고도가 낮은 곳에 위치한다. AWS지점들 중에서 가장 해발고도가 높은 진달래밭(870)과 윗세오름(871)이 본격적으로 기온 관측을 시작한 시기는 2005년 8월부터이다. 따라서 2006년과 2007년에 대해 표준기상관측지점과 AWS 5지점을 포함한 9개 지점에 대하여 최저기온과 최고기온감률을 도출하였다. 기상관측소가 위치한 DEM 격자값을 독립변수로 두고, 표준기상관측소의 일별 기온을 종속변수로 두어 추세선의 기울기를 기온감률로 하였다. 또한 기온감률의 추세가 실제와 비슷한지를, 9개 지점 외 AWS의 기온자료를 기온감률 위에 겹쳐서 확인하였다. 제주도의 최고 및 최저기온 배경기후도는 4곳의 표준기상관측지점 기온자료를 이용하였다.

최저기온 보정과정에서 온난대효과를 적용할 경우 중산간지 이상 고지대 기온이 과대추정되는 경향이 보였다. 따라서 30년 평년의 제주도 전자기후도 제작 과정에서 온난대 효과를 제외하였다. 도시열섬효과(UHI)를 나타내는 최소 인구수는 주변 반경 2,500m로 평활화했을 경우 한 격자점당 12,000명 이상이다. 기존 UHI 계산과정과 동일하게 제주도에 대해서도 적용하였으나, 도시열섬효과로 인한 기온 보정값이 미미하여 이 역시 제주도 기온기후도 제작과정에서 제외하였다.

최고기온의 경우, 과열지수와 지표피복, 당일의 일교차를 이용해 종합적으로 일

최고기온 보정값을 계산한다. 제주지방기상청과 고산의 표준기상관측소 두 곳에서 관측되는 일사량을 토대로 성산과 서귀포의 일사량을 추정하였고 4지점을 이용해 수평면 일사 배경기후도를 제작하였다. 또한 일사기후도 제작 방법으로 경사면 일사수광량을 준비하여 최종적으로 일 최고기온의 기온 보정값을 계산하였다.

앞서의 기온기후도 제작방식으로 최고 및 최저기온을 추정하고 이때 사용되지 않은 10곳의 AWS지점에서 관측된 기온값과 비교하여 그 편차와 해안으로부터의 거리 간 상관관계를 살펴보았으나 뚜렷한 바다의 효과를 확인하기 어려웠다. 또한 남한 지역에서 추정한 해안가의 바다효과 기온보정을 적용해 본 결과에서도 오차를 보정하는 효과를 기대하기 어려울 것으로 나타났다.

6. 추정 기온자료의 신뢰성 검증

한정된 시간과 연구자원을 최대한 효율적으로 사용하여 검증에 필요한 독립자료를 얻기 위해 단일 집수역 내에 고밀도 관측망을 설치 운영하였다. 식물군락 상부 1.5m 높이에 저렴한 집록기 일체형 온도계를 설치하고 3개월 간격으로 방문하여 자료를 수집하였다. 소기후모형과 공간정보에 의해 검증관측지점의 일 최고 및 최저기온을 추정한 다음, 각 지점 실측 기온자료와의 편차를 이용하여 평균오차(ME), 평균절대오차(MAE), 평균평방근오차(RMSE)를 계산함으로써 오차의 범위를 알 수 있다. 상대적인 비교를 위한 기준으로는 현재 기상청에서 국지기온실황 추정에 쓰는 500여 개소 자동기상관측자료의 IDSW 내삽기온을 이용하였다. 공간기후모형은 오로지 관측여건이 표준화된 종관기상관측자료만 이용하므로, 만약 추정값의 오차수준이 자동기상관측자료로부터 추정한 것과 유사하거나 조금이라도 나아진다면 이 추정방법의 실용성이 인정된다고 할 수 있다.

사면일사효과나 냉기유입효과에 비해 규모가 큰 도시열섬효과에 경우 시험유역 내에서의 검증이 어려우므로 전국을 대상으로 자동기상관측지점의 자료를 근거로 간접적인 검증을 시도하였다. 2001년 이후 실측기온자료를 보유한 자동기상관측소 380개를 대상으로 임의 두 지점씩을 선별하여 해당 격자점의 기온을 추정한 다음 두 지점 간 기온차를 구하고, 이것과 실측기온차 사이 편차평방화(추정오차)를 계산

하였다. 비교를 위해 도시효과를 고려하지 않는 기존의 기온추정법에 의해 추정오차를 계산하였다.

구체적으로 표준유역 가운데 산간지, 중산간지, 평야지의 특성을 갖는 3개를 설정하여 검증관측망을 구축하였는데, 산간지는 강원도 평창군의 도암댐유역을, 중산간지는 충북 충주시의 충추댐하류유역을, 평야지로는 충남 예산군으로서 기온/습도 자동관측장비(HOBO H8 Pro, Onset Computer) 27대를 설치하고, 관측지점의 위치좌표를 수집하였다. 일 최저기온 모형의 정확한 모수 추정을 위해 야간경계층 기온연직구조 측정장비(MTP5H, Kipp & Zonen)를 평창의 고령지농업연구소 및 예산군농업기술센터에 설치하고 테더존데 관측자료와 비교실험을 수행하였다(그림 18).



그림 18. 경계층 온도연직분포 측정 장비 초단파프로파일러(상)과 테더존데(하)

도암댐 지역의 시험관측을 통해 모수를 조정한 경관규모 공간기후모형을 전국적으로 적용했을 때 예상되는 일 최고기온과 일 최저기온의 신뢰도를 검증하였다. 검증에 필요한 독립자료는 충청북도 충주시 엄정면 일대의 충주댐 하류 지역의 고밀도 관측망으로부터 수집하였다(표 3, 그림 19). 이 지역은 평균 표고 약 200m로서 완만한 구릉지로 이루어진 곳이며 구역 내 엄정면사무소 옥상에 기상청 자동기상관측장비가 설치되어있다. 국토지리정보원으로부터 실험장소가 포함된 1:5000 수치지형도를 구입하여 주곡선 정보로부터 TIN 표면을 생성하고, 해상도 10m의 DEM으로 변환하였다. 이 DEM으로부터 경사도와 경사방향을 계산하였다. 비슷한 고도와 서로 다른 경사방향, 지표피복을 고려하여 지표로부터 1.5m 높이에 집록기 일체형 온습도계(Model HOB0 H8 Pro, Onset Computer Co., USA)를 설치하고, 2006년 12월 23일부터 2008년 11월 18일까지 10분 간격으로 기온을 측정하였다.

표 3. 충주댐 하류구역 고밀도 기온검증관측망 10개 관측 지점의 주요 지형특성

SITE #	Elevation (meter)	Aspect (degree)	Slope (degree)
1	165	247(SW)	13
2	202	225(SW)	8
3	116	276(W)	15
4	124	104(E)	11
5	190	42(NE)	10
6	216	219(SW)	9
7	170	3(N)	10
8	179	169(S)	14
9	171	184(S)	9
10	151	110(E)	10

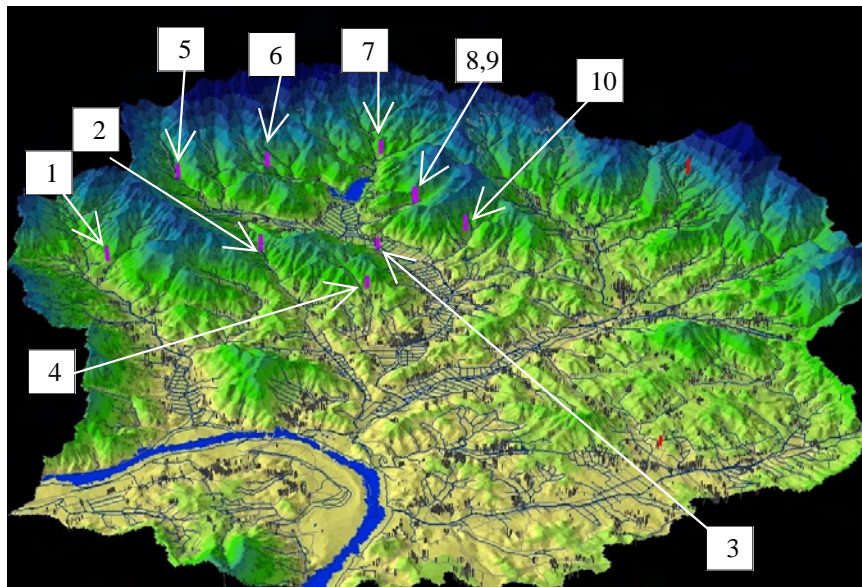
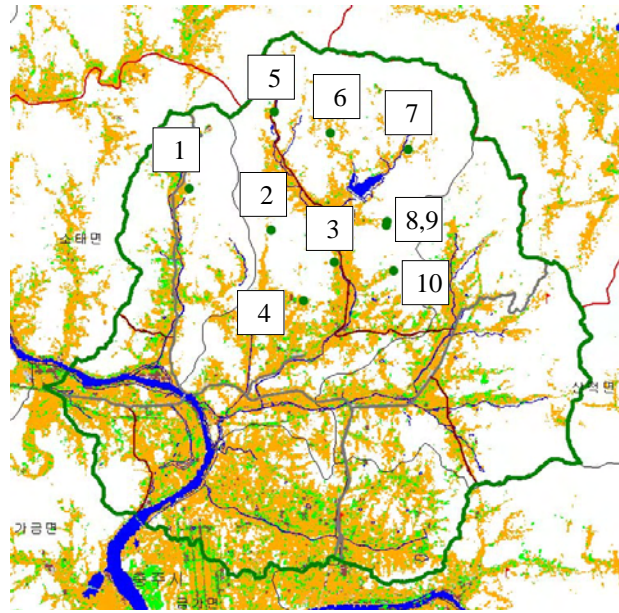


그림 19. 충주댐 하류유역 고밀도 기온검증관측망의 위치와 주변지형

공간기후모형에 의해 2006년 12월 23일부터 2008년 11월 18일 기간 중 인근 충주 기상대 운량자료를 근거로 맑은 날씨만 선택하여 10개 검증관측지점의 일 최고 및 최저기온을 추정하였다. 각 지점 실측 기온자료와의 편차를 이용하여 평균평방근오차(RMSE)를 계산하였다. 비교를 위한 기준으로 현재 기상청에서 국지기온실황 추정에 쓰이는 500여 개소 자동기상관측자료의 IDSW 내삽기온을 이용하였다(그림 20).

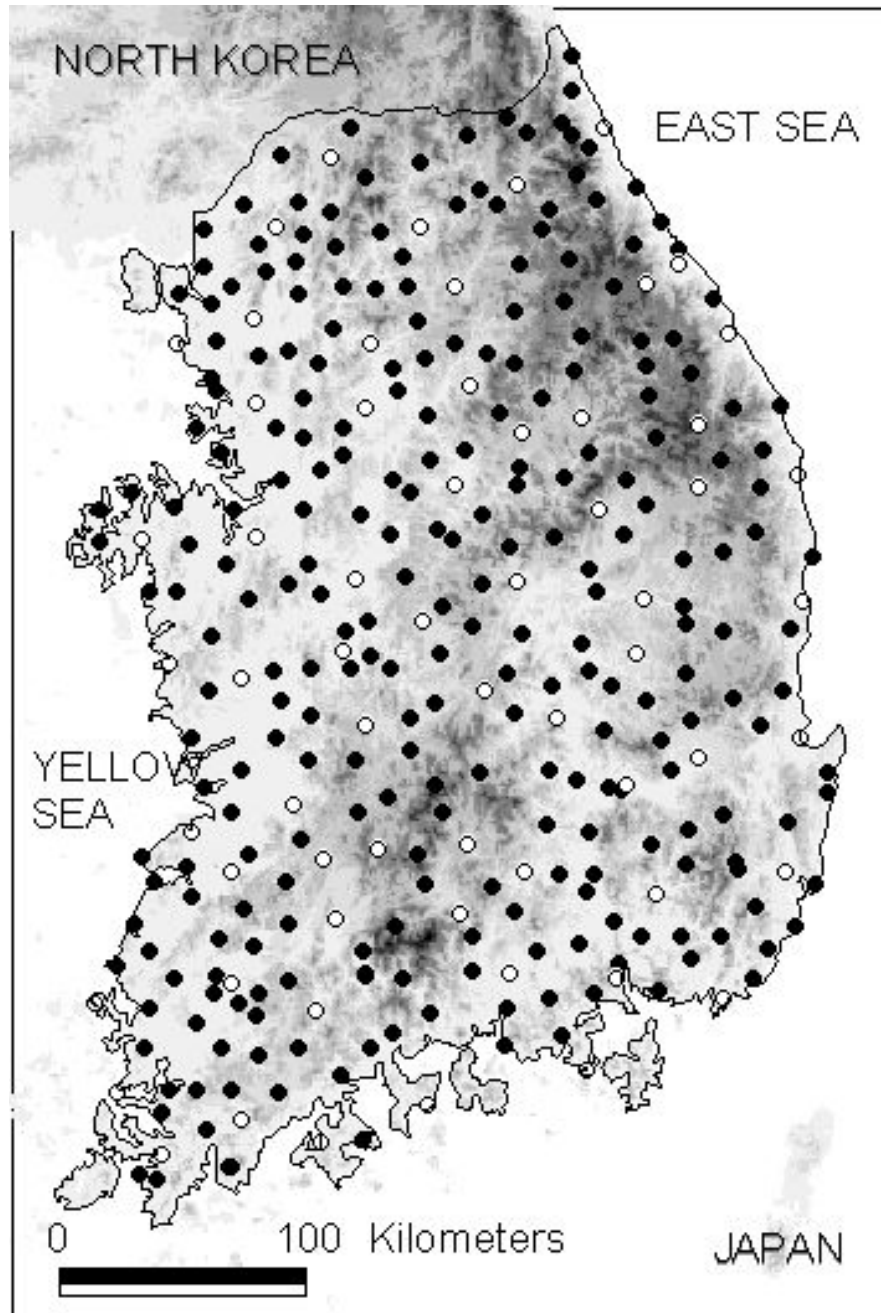


그림 20. 기상청 자동기상관측소의 위치(까만 점)와 종관기상관측소의 위치(하얀 점)

먼저 10개 지점의 일 최고기온 추정값을 실측자료와 1:1로 비교해보면 AWS 자료로부터 추정된 값에 비해 훨씬 우수함을 알 수 있다(그림 21). 그림에는 작물생육기간인 4월부터 11월까지 맑은 날의 일 최고기온을 보여주는데, 자동기상관측자료로부터 추정한 기온자료의 RMSE는 2°C에 달하나 종관자료와 공간정보에 의해 추정한 기온값은 1°C 이내의 추정오차를 보인다.

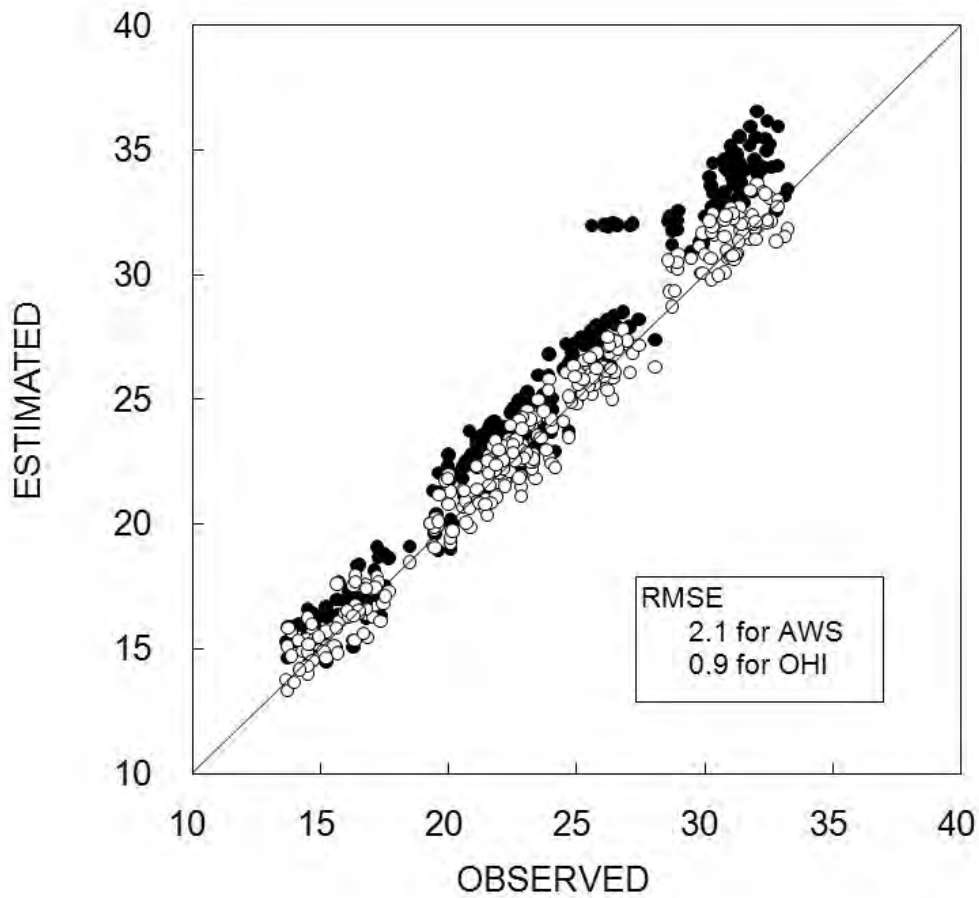


그림 21. 공간기후모형에 의한 충주댐 하류유역 10개 검증관측소의 2007년 4월부터 2008년 11월까지 맑은 날의 일 최고기온 추정값과 실측기온 사이의 관계. 비교를 위해 기상청 AWS 관측자료의 내삽에 의한 추정값을 함께 표시함

일 최저기온의 추정값을 실측자료와 1:1로 비교해보면 AWS 자료로부터 추정한 경우에 비해 약간 개선된 것을 알 수 있다(그림 22). 그림에는 작물생육기간인 4월부터 11월까지 맑은 날의 일 최저기온 추정값을 보여주는데, 자동기상관측자료로부터 추정한 기온자료의 RMSE는 3.1°C에 달하나 종관자료와 공간정보에 의해 추정한 기온값은 RMSE가 2.5°C로서 최고기온의 경우보다는 덜하지만 추정값의 신뢰성이 향상되었음을 알 수 있다.

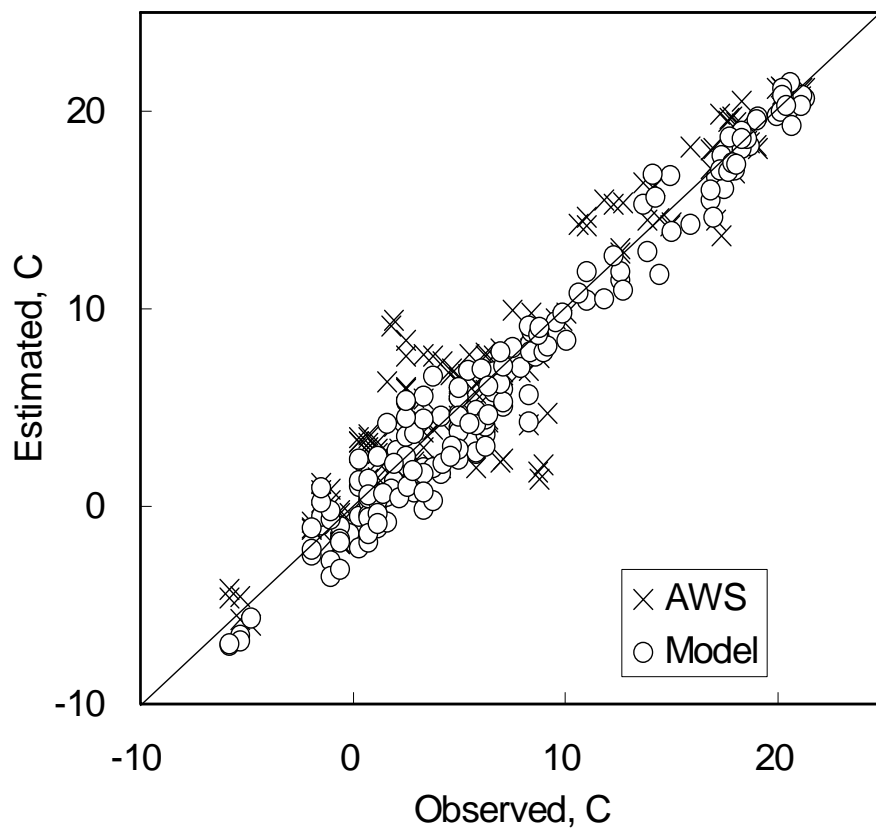


그림 22. 공간기후모형에 의한 충주댐 하류유역 10개 검증관측소의 2007년 4월부터 2008년 11월까지 맑은 날의 일 최저기온 추정값과 실측기온 사이의 관계. 비교를 위해 기상청 AWS 관측자료의 내삽에 의한 추정값을 함께 표시함

사면일사효과나 냉기유입효과에 비해 규모가 큰 도시열섬효과의 경우 시험유역 내에서의 검증이 어려우므로 전국을 대상으로 자동기상관측지점의 자료를 근거로 간접적인 검증을 시도하였다. 2001년부터 2007년까지 7년간 실측기온자료를 보유한 자동기상관측소 380개를 대상으로 임의의 두 지점을 선발하여 해당 격자점의 기온을 추정된 다음 두 지점간 기온차를 구하고, 이것과 실측기온차 사이 편차평방화(추정오차)를 계산하였다. 비교를 위해 도시효과를 고려하지 않는 기존의 기온추정법에 의해 추정오차를 계산한 결과, 도시효과 보정에 의해 월별로 최대 14.8%, 평균 10.6%의 오차저감효과를 확인할 수 있었다(표 4).

표 4. 도시열섬효과 보정에 의한 월별 편차평방화 저감효과

Month	Number of Random Pairs	Variation (SS)		Improvement (% SS reduction)
		Control	UHI	
January	50,403	180,607	169,118	6.4
February	43,956	120,938	110,092	9.0
March	48,199	120,152	106,591	11.3
April	50,397	110,846	94,784	14.5
May	51,034	73,417	62,522	14.8
June	51,997	52,393	45,226	13.7
July	51,997	32,461	28,897	11.0
August	52,320	40,162	34,720	13.6
September	51,034	88,578	79,737	10.0
October	52,320	186,545	171,385	8.1
November	51,997	201,651	185,935	7.8
December	51,354	218,863	203,648	7.0
Annual				10.6

제 2 절 일사량

1. 사면 수광량(slope irradiance) 추정모형

식물의 생장, 발육, 수량형성 구동력은 태양에너지로서 ‘일사량’에 의해 그 값을 가늠할 수 있다. 일사관측은 다른 기상요소에 비해 까다롭기 때문에 일사량 대신 일조시간을 측정하여 식물반응을 간접적으로 평가해 왔다. 하지만 하루 동안의 일조시간이 그 날의 일사량과 반드시 직선적인 관계에 있는 것은 아니기 때문에 식물반응의 직접적인 평가를 위해서는 일조시간 대신 일사량을 측정해야 한다. 최근에는 고가의 정밀 일사기준측기에 대해 5% 이내의 오차를 갖는 간이 일사계가 저렴하게 공급되고 있어 일사량을 이용한 직접평가가 가능해졌고, 따라서 작물생장모형의 입력변수로서 일조시간의 합 대신 일 적산일사량(단위 $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)이 보편적으로 쓰이고 있다.

기상대에서 측정하는 일사량은 소위 ‘수평면전천일사량’으로서 수평의 지면에 도달하는 0.3~3.0 마이크로미터 파장범위의 복사에너지이며, 측정단위는 단위시간(1초)·단위면적(1제곱미터) 당 에너지 량(주울)이다. 일반 사용자에게 제공하기 위해서는 이것을 일사측정장비에 의해 24시간 동안 연속측정하고 그 값을 적산하여 제곱미터 당 메가주울(100만 주울) 단위로 표현한다. 이렇게 만들어진 ‘일적산수평면일사량’은 농림업은 물론 건축, 토목, 태양에너지산업 등에 유용하게 사용된다.

우리나라 농경지 가운데 담수상태로 작물을 재배하는 벼논의 경우 대부분 평야지에 자리 잡고 있어 벼의 생육반응을 추정하는 데는 당연히 수평면일사량을 사용한다. 하지만 밭, 과수원, 삼림의 경우 평야지보다는 경사지에 위치하는 경우가 많아 전작물, 과수, 수목의 생육반응은 수평면일사량 대신 사면수광량(slope irradiance)을 사용하는 것이 더 합리적이다. 실제로 우리나라 국토를 사방 30m의 정방형 격자점으로 표현할 경우 전체 국토의 평균경사도가 14.3도이며, 국토면적 가운데 평지로 간주되는 경사도 5도 이하는 28.2%에 불과하다. 반면 국토의 58.8%는 경사도 10도 이상이며 15도 이상이 45.2%, 20도 이상도 30.7%에 달한다. 즉 현실적으로 더 많은 농작물과 수목이 수평면이 아니라 일정 기울기(경사도)와 기울어진 방향(경사방향)을 가진 경사면에서 자라고 있는 것이다. 따라서 경사면의 일사수광량을 정확하게

알아내는 일은 우리나라 농림업 발전의 기본과제라 할 것이다.

경사면에 도달하는 일사에너지 혹은 경사지에서 재배되는 농작물군락이 이용할 수 있는 최대한의 일사량, 즉 ‘일적산경사면일사량’을 알아내기 위해서는 기상청에서 발표하는 ‘일적산수평면일사량’을 해당토지의 경사도와 경사방향은 물론, 그 날의 태양고도와 방위각에 따라 적절하게 보정해야 한다. 그런데 토지의 경사도와 경사향은 고정되어있지만 태양의 고도와 방위각은 연중 날짜뿐 아니라 하루 중 시간대에 따라 변화하므로 정확한 ‘일적산경사면일사량’을 추정하기 위해서는 시간대별 ‘수평면전천일사량’ 자료를 수집해야 하며, 그 시간대의 태양위치를 계산해야 하는 등 일반인에게는 수행하기 어려운 작업이 필요하다.

본 연구에서는 기상대에서 측정한 ‘일적산수평면일사량’에 적용하여 임의 경사면(경사도 X 경사방향)의 ‘일적산경사면일사량’을 비교적 정확하고 간편하게 알아낼 수 있는 지형보정계수를 고안하여 실제 지형에 적용할 것이다.

주어진 시간대 i 에서 수평면 일사량에 대한 경사면 일사량의 비율을 “매시일사보정계수” (W_i)라 정의하고 다음 식으로 표현한다.

$$W_i = k_i r_i \quad \text{----- (9)}$$

여기서 k_i 는 시간대별 상대일사강도(relative solar intensity)를, r_i 는 같은 시간대의 사면일사수광비(slope irradiance ratio)를 가리킨다. k_i 는 수평면의 하루 적산일사량에 대한 해당 시간대의 일사량(x_i) 비율로 정의되는데, 일사량 실측값이 아닌 청천일사량의 매시간 적산값을 이용하여 다음 식으로 계산된다.

$$k_i = \frac{x_i}{\sum x_i} \quad \text{----- (10)}$$

r_i 는 수평면 청천일사량(clear sky radiation, x_i)에 대한 경사면 청천일사량(y_i)의 비율로서 역시 실측일사량이 아니라 청천일사량을 이용하여 다음 식에 의해 계산된다.

$$r_i = \frac{y_i}{x_i} \quad \text{-----} \quad (11)$$

식 (10)와 (11)에 의해 식 (9)을 정리하면 다음과 같다.

$$W_i = \frac{y_i}{\sum x_i} \quad \text{-----} \quad (12)$$

하루 동안 얻어진 시간대별 일사보정계수(W_i)를 모두 합치면 해당 날짜 d 의 누적 보정계수(W_d)가 되며, 그 값은 수평면에서의 값 1.0에 대한 경사면의 상대적인 지수로서 일사량 보정에 이용될 수 있다.

$$W_d = \sum W_i \quad \text{-----} \quad (13)$$

연중 날짜별, 시간대별 청천일사량의 계산법은 잘 알려져 있는데, 대기가 없다는 가정 하에 수평의 지표면에 도달하는 일사량, 즉 대기의 일사량의 한 시간 적산값을 X_0 라 두면, 실제 대기를 투과해서 지면에 도달하는 일사량은 관측시점의 태양고도(α)에 따라 직달성분(X_{bd}) 및 산란성분(X_{ad})으로 배분되며, 각각 다음 식에 의해 추정할 수 있다(Gate, 1980).

$$X_{bd} = X_0 \tau \frac{1}{\sin \alpha} \sin \alpha \quad \text{-----} \quad (14)$$

$$X_{ad} = X_0 (0.271 - 0.294\tau \frac{1}{\sin \alpha}) \sin \alpha \quad \text{-----} \quad (15)$$

여기서 τ 는 태양복사의 대기투과율 상한값으로서 0.8로 알려져 있는데, 청천조건에서 연직상방으로부터 입사할 경우 대기외일사의 80%까지 산란되지 않고 직접 지구표면에 도달한다는 의미이다. $\frac{1}{\sin \alpha}$ 은 대기투과율 상한값이 태양고도가 낮아짐에

따라 함께 낮아져 직달일사 성분을 감소시키는 것을 모의한다. 이들 식으로 계산된 직달 및 산란 두 가지 일사성분을 합치면 수평의 지면에 도달하는 시간대별 청천일사량이 된다.

연중 날짜별 경사면 청천일사량(y_i)의 계산법 역시 잘 확립되어 있다. 예를 들어 관측시점의 태양고도각과 방위각이 각각 α , β 일 때 경사향이 b 이고 경사도가 a 인 지면이 받는 직달일사량은 다음 식으로 표현된다(Kondratyev and Federova, 1977).

$$y_b = X_{b0} \frac{\{ \cos \alpha \cos (\beta - b) \sin a + \sin \alpha \cos a \}}{\sin \alpha} \quad \text{-----} \quad (16)$$

경사면이 받는 산란일사수광량은 다음 식에 의해 추정할 수 있다(Gates, 1980).

$$y_a = X_{a0} \cos^2 \left(\frac{a}{2} \right) \quad \text{-----} \quad (17)$$

여기서 $\cos^2 \left(\frac{a}{2} \right)$ 는 1을 최대값으로 하는 천공개방도(sky view factor)이다. 매 시간대별 y_a , y_b 두 가지 성분을 합친 것이 청천조건에서 경사면이 받는 일사수광량(solar irradiance, y_i)이다.

2. 일사-일조 관계식의 정립

수평면 일사량만 주어지면 전국 어느 곳이든 사면 수광량 모형에 의해 경사면의 식생이 사용할 수 있는 최대 일사량을 계산할 수 있다. 문제는 우리나라에서 수평면 일사량을 공식적으로 관측하는 곳이 단 22개에 불과하다는 점이다. 따라서 일사량 대신 일조시수를 관측하는 나머지 기상관측소에 대하여 관측된 일조시수로부터 일사량을 추정하는 방법을 모색해야 한다.

전자기후도 제작에 쓰인 기상청 56개 지점 표준관측소 가운데 수평면 전천일사량을 관측하는 기상대가 22개소 있지만 기상대마다 관측기간이 다르고 1982년도 이전

자료의 질적 수준이 측기의 노후화 교정오차 등으로 인해 정확도가 상당히 불확실하며 1982년 3월부터 새로운 장비로 교체한 점이 발견되었으므로 18개 기상대의 최근 25년(1983-2007년) 자료만을 수집 하였다(Jo *et al.*, 2000). Angstrom-Prescott 방법에 기초하여 개개의 일사-일조경험식을 유도하였다.

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad \text{----- (18)}$$

Q 는 일사량, Q_0 는 대기의 일사량, S 는 일조시수이며, 태양광선이 구름이나 안개로 가려지지 않고 땅 위를 비치는 것으로 실제로 비친 시간이다, S_0 는 가조시수로서 산이나 언덕 등의 장애물이 없다고 가정하고 어느 지점에 햇빛이 비칠 수 있는 최장 시간이다. 일조시수를 가조시수로 나눈 것을 일조율, 일사량을 대기의 일사량으로 나눈 것을 일사율이라고 한다. a , b 는 경험적으로 유도되는 회귀계수이다.

18개 기상대 회귀계수 a , b 를 이용하여 4대강과 산맥분포를 고려하여 나눈 4개 권역으로 IDSW에 의해 일사 미관측 기상관서 38개소의 회귀계수 a , b 를 추정하였다.

기상청 보고에 따르면 1988년부터 22개 기상대의 평균한 일조시간은 1990년대 중반부터 감소하는 경향을 보이거나 일사량은 서서히 증가하는 경향을 나타낸다고 한다. 하지만 일사-일조율경험식으로 추정된 일사량은 증가하지 않고 감소하는 경향을 보이므로 보정이 필요하다. 18개 기상대 일사량 변화율을 권역별로 공간내삽 하여 일사 미관측 기상관서의 일사량 변화율을 추정하고 이를 대기의 일사량에 보정함으로써 보완하였다.이 보정된 추정값으로 표준관측소에 대하여 270m의 배경 일사기후도를 작성하고 일사추정 모형을 적용하여 30m 해상도의 일사기후도를 작성하였다.

그림 23은 일사수광량 전자기후도 사례로서 강원도 평창군 도암댐 표준유역을 보여준다. 상단 왼쪽에서 오른쪽으로 1월, 3월, 5월, 하단 왼쪽에서 오른쪽으로 7월, 9월, 11월 평균 일별 적산일사수광량(단위: MJ m² day⁻¹)이 지형음영을 배경으로 동일 범례로 표현되었다. 위치식별을 위해 저수지(도암댐)와 하천을 중첩시켰으며 격자점간 거리는 사방 30m, 지도투영은 TM이다.

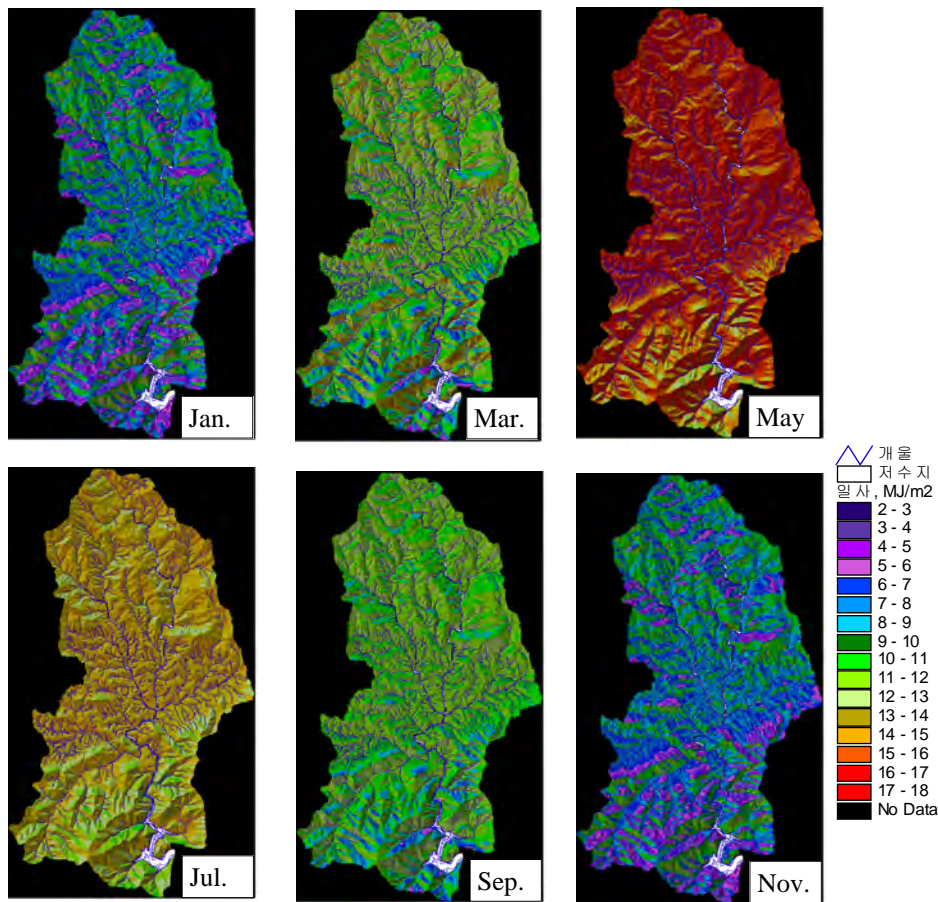


그림 23. 강원도 평창군 도암댐 표준유역의 1월, 3월, 5월, 7월, 9월 11월의 평균 적산일사수광량($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

3. 추정 일사량의 신뢰성 검증

가. 일조-일사 관계식

전국 일사 미관측 기상대 9개소(철원, 동해, 천안, 충주, 상주, 정읍, 남원, 마산, 울산)와 일사관측기상대 1개소(안동)로 구성된 일사검증관측망을 운영하였다. 그림 24에서 파란색 점은 기존 일사관측기상대이며, 빨간색 점이 본 연구에서 새로 설치한 지점이다. 미관측 지점의 일사량 추정은 동일권역에 포함되는 일사관측기상대로서 그림 24에 빨간 선으로 구분되어있다.

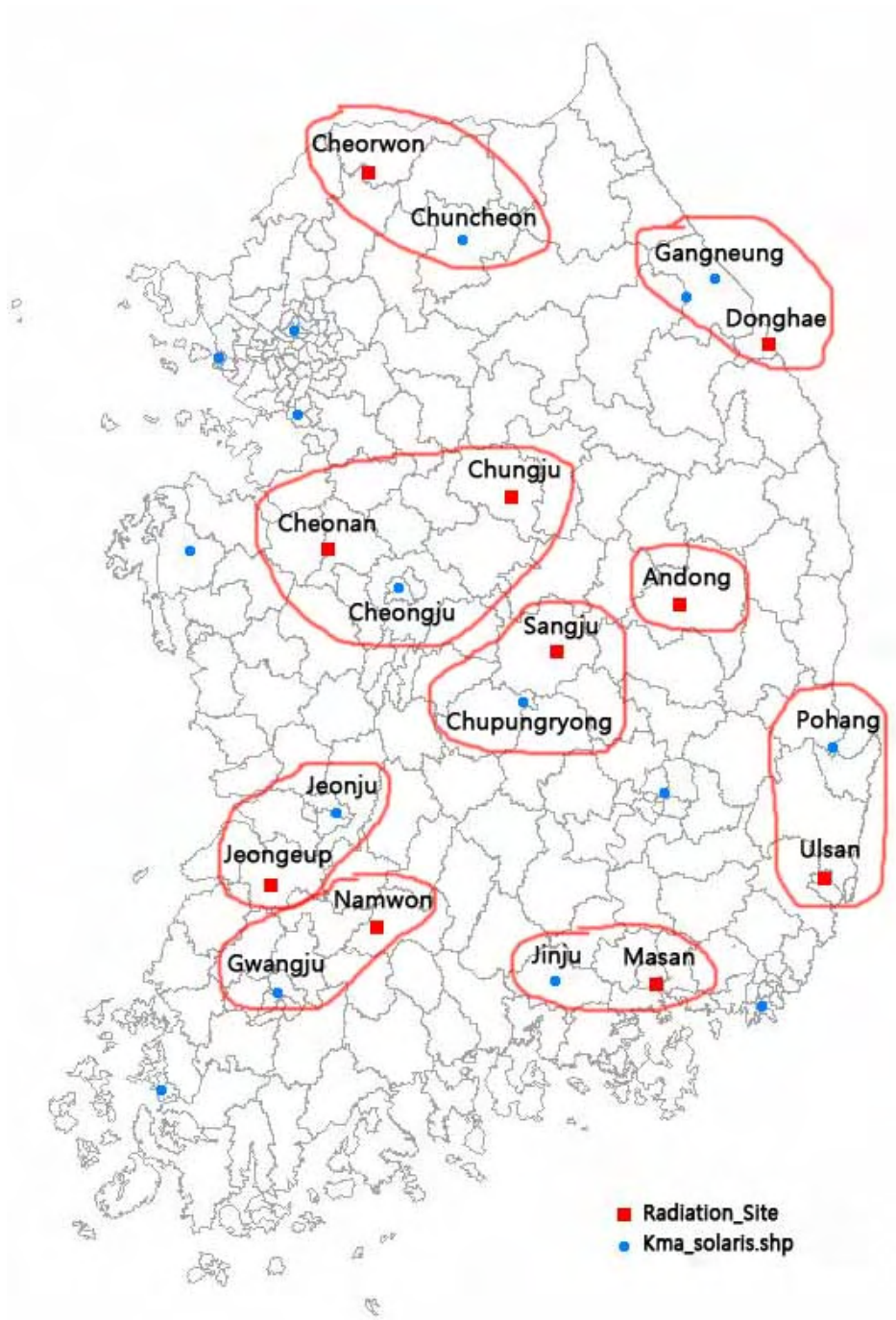


그림 24. 전국 일사관측기상대와 일사검증관측망 위치

그림 25는 간이일사계를 설치한 모습으로서 상단이 철원기상대, 좌하단이 동해기상대, 우하단이 안동기상대이다.



그림 25. 철원기상대(위)와 동해기상대(아래, 좌) 및 안동기상대(아래, 우)에 설치된 간이일사계

안동의 경우 일사관측기상대이지만 본 연구에 사용된 일사측정장비의 신뢰성을 확인하기 위해 검증관측망에 포함시켰다. 그림 26의 왼쪽 사진은 검증용 일사센서 (Model SP-100, Apogee Instruments Inc., USA)이며, 오른쪽은 자료집록기(Model STL, 제조사 STA)와 결합하여 설치된 모습이다. 제작사에 의하면 이 일사센서는 cosine response가 45° zenith angle에서 $\pm 1\%$, 75° zenith angle에서 $\pm 5\%$ 이며 absolute accuracy는 $\pm 5\%$ 오차범위에 든다고 한다.

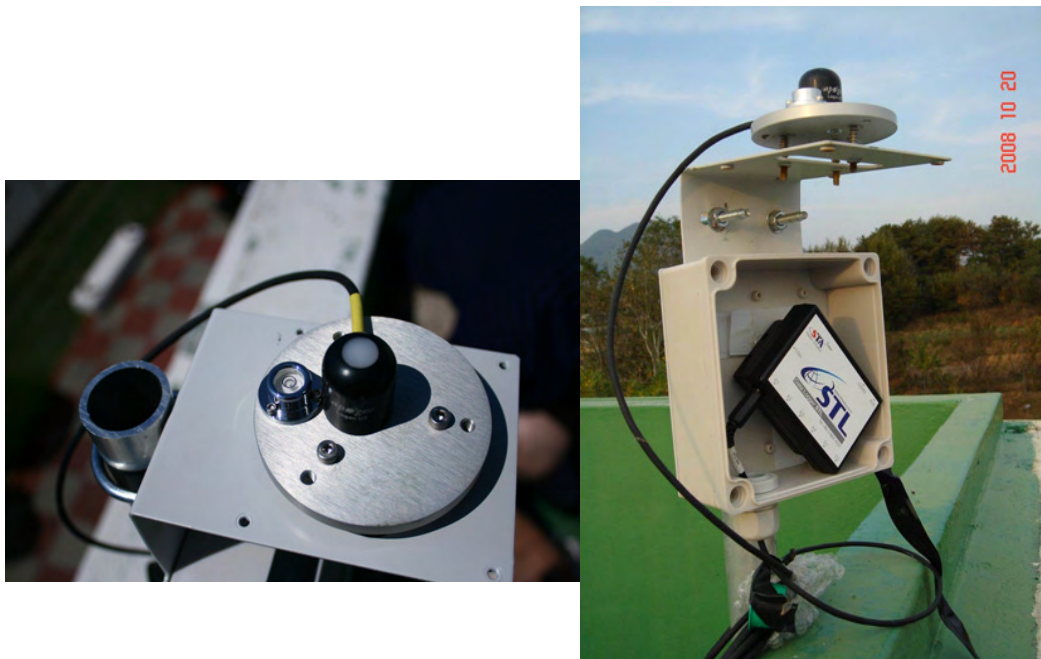


그림 26. 검증용 일사 센서(좌) 및 자료집록기(우)

안동기상대에는 표준측기인 에플리일사계가 설치되어있으므로 간이일사계의 성능을 직접 검사해볼 수 있었다. 태양고도가 낮은 시기인 2008년 10월 11일부터 12월 21일까지 두 달 두안 수집된 자료를 서로 비교한 결과 SP-110은 표준측기에 비해 평균 $8.99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ vs. $10.03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 10.4%나 적은 값을 보였다. 평균편차는 $-1.02 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, RMSE는 $1.50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로서 제작사양에 비해 좋지 못한 성능을 보였다.

검증용 일사측정 장비로부터 측정된 하루 적산일사량을 크게 3구간으로 나누어 살펴보면 그림 27에서 5 ~ 15 MJ m^{-2} 구간(B)에서는 표준측기 관측값의 경향을 우수하게 반영하는 반면 15 MJ 이상(C)과 5 MJ 이하(A)에서는 과소측정 하는 것으로 나타났다.

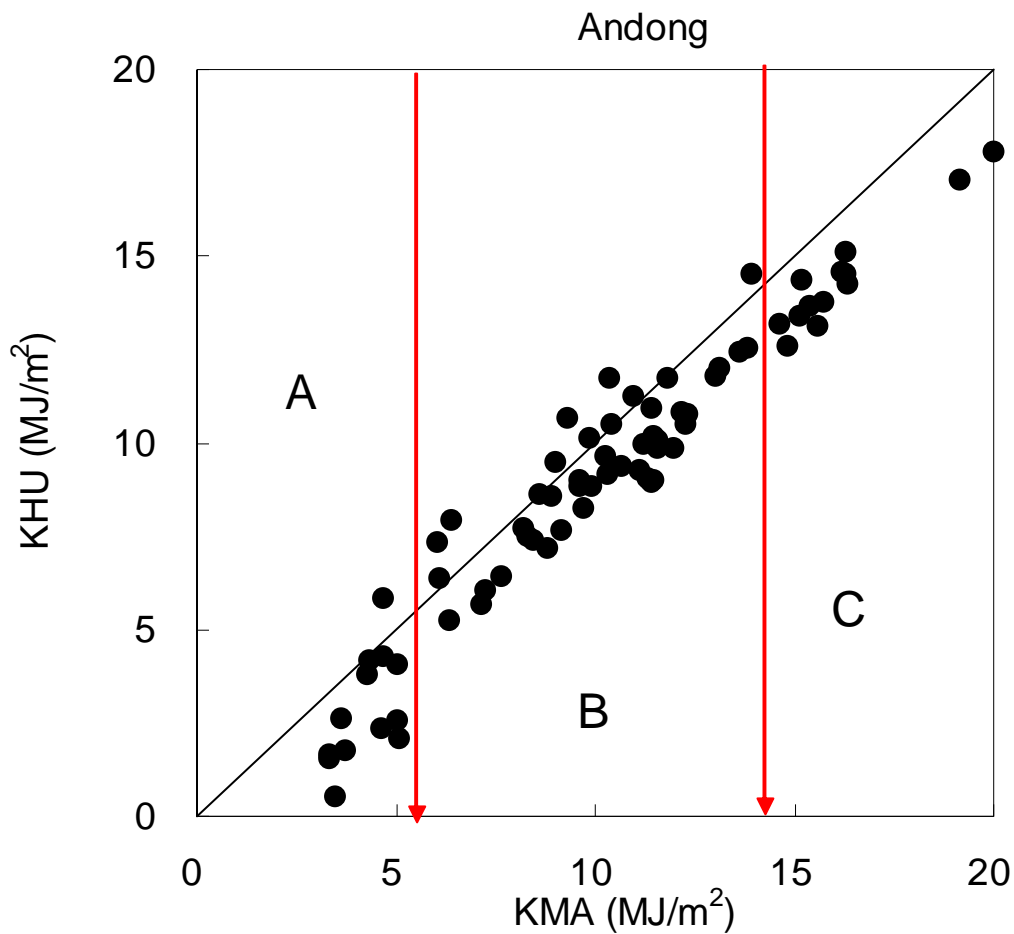


그림 27. 안동기상대에 설치된 표준측기 애플리일사계의 관측값과 검증용 일사측정장비의 관측값 비교

이러한 측기의 특성을 감안한 조건에서 2008년 9월 1일부터 12월 21일까지 전자기후도 제작방식으로 추정된 10개 지점의 일별 적산일사량을 SP-110 간이측기로 측정한 값과 비교하였다. 평방근오차는 안동 1.12, 정읍 1.25, 남원 1.08, 천안 1.62, 마산 1.36, 울산 1.50, 충주 1.36, 철원 1.39, 동해 1.22 MJ로서 평균 1.3 MJ 전후였지만 경북 상주만 2.07 MJ로서 특히 낮은 신뢰도를 보였다. 각 지점별로 실측값과 추정값을 1:1로 비교해 보면 역시 일사량이 적은 구간에서 오차가 커지는 것을 확인할 수 있는데(그림 28), 이는 앞서 설명한대로 검증장비의 특성에 기인한다고 볼 수 있다.

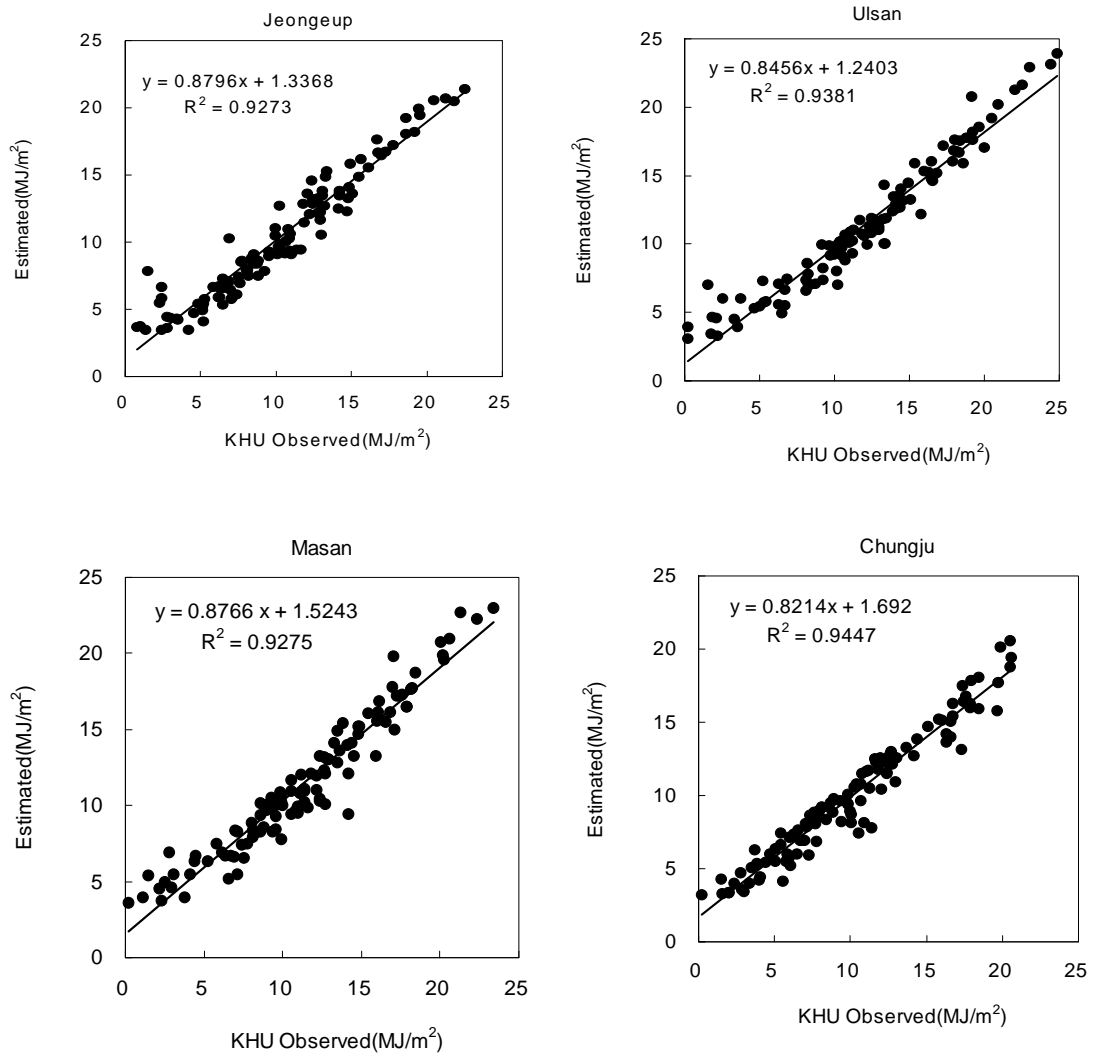


그림 28. 정읍과 울산, 마산, 청주에서 측정된 일별 적산일사량과 전자기후도 추정 일사량 비교

나. 사면 수광량모형의 신뢰성

일사보정계수가 실제상황에서 쓰임새가 있는지 확인하기 위해서는 다양한 지형조건에서 사계절을 포함하는 장기간에 걸쳐 얻은 경사면 일사측정자료가 필요하다. 특히 실험실이 아닌 자연상태에서 이러한 자료를 얻는 것이 실용성 확보에 필수적이다. 제주도 한라산 기슭에는 많은 기생화산이 존재하므로 본 연구에서는 피복조건이 유사하고 다양한 조건이 연출될 수 있는 기생화산을 선정하여 바닥으로부터 일정 고도면 8방위에 지면경사도와 동일한 각도로 일사센서를 설치하였다.

바닥으로부터 연직상방 70m 지점의 등고도면 8방위에 지면경사도와 동일한 각도로 일사센서(Model SP-100, Apogee Instruments Inc., USA)를 설치하고 자료집록기(Model STL, STA, Korea)와 결합하여 1분 간격 자료를 수집하였다. 제작사에 의하면 SP-100의 측정오차는 천정각 45°에서 $\pm 1\%$, 75°에서 $\pm 5\%$ 이며, 절대오차는 기준측기의 $\pm 5\%$ 범위에 든다고 한다. 현장 설치 전에 경희대 국제캠퍼스 생명과학대학(경기도 용인시 기흥구 서천동 소재) 옥상에서 3일간 에플리일사계 (Model 8-48, Eppley Laboratory Inc., USA)와 비교측정하여 오차범위에 이상이 없음을 확인하였다. 실험장소의 수평면 전천일사량을 측정하기 위해 주변에 장애물이 없는 기생화산의 정상에 수평으로 에플리형 일사계를 설치하고 데이터로거(Model CR10X, Campbell Scientific, USA)에 의해 1분 간격으로 측정하여 매시 적산값을 저장하였다.

국토지리정보원으로부터 높은오름을 포함하는 지역의 1:5,000 수치지형도(도엽번호 33608072)를 입수하여 주곡선 정보로부터 TIN표면을 생성하고, 해상도 1m의 DEM으로 변환하였다. 이 DEM으로부터 일사계가 설치된 8 지점의 경사도와 경사방향을 계산한 다음, 1월 1일부터 12월 31일까지 일별 일사보정계수(W_d)를 추정하였다. 기준점(정상 부근)에서 측정된 2007년 4월 14일부터 2008년 4월 13일까지 일간 적산 전천일사량자료에 일별 일사보정계수를 적용하여 8개 지점의 일적산사면일사량을 추정한 다음, 각 지점에서 SP-100에 의해 얻은 실측 일사량과 비교하여 추정값의 신뢰도를 검증하였다.

지형보정계수를 적용하여 추정한 8개 지점의 1년간 일별 일사수광량을 실측자료와 비교한 결과 둘 사이에 결정계수 0.97의 선형관계가 확인되었다(그림 29).

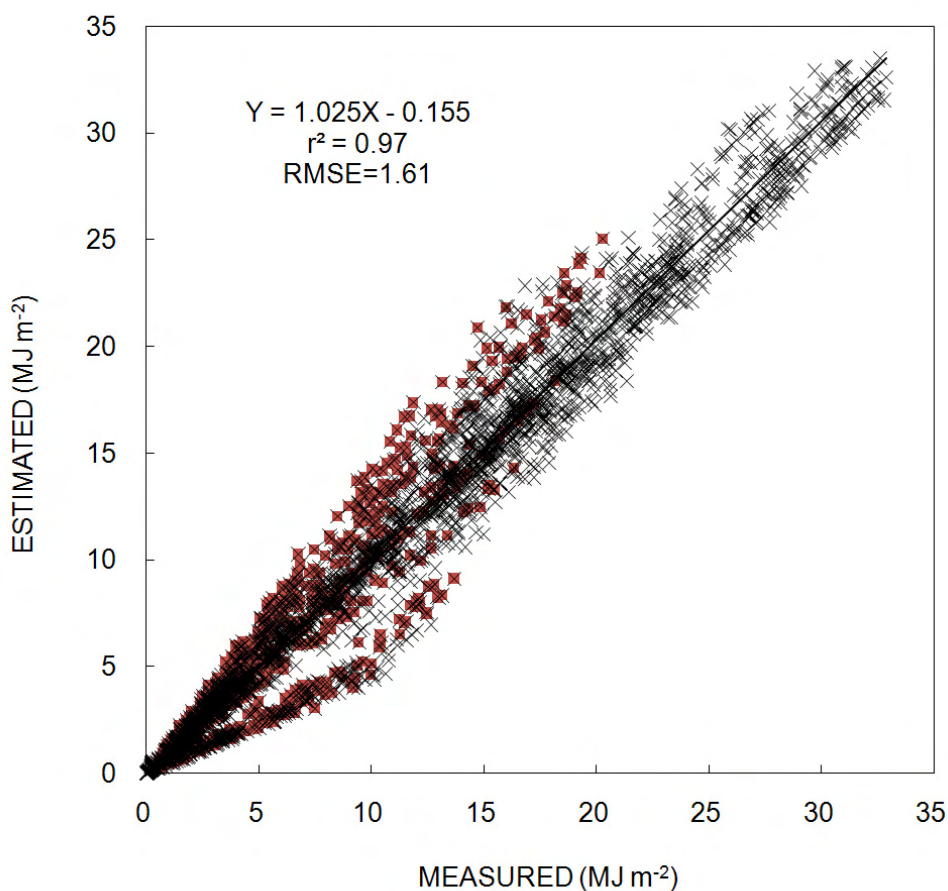


그림 29. 2007년 4월 14일부터 2008년 4월 13일까지의 8개 지점 추정일사량과 실측일사량 간의 관계를 나타냄.

편차평균근오차(RMSE)는 봄(3, 4, 5월) 1.47, 여름(6, 7, 8월) 0.88, 가을(9, 10, 11월) 1.74, 겨울(12, 1, 2월) 2.11 MJ m⁻² 로서 연평균으로는 1.61 MJ m⁻² 를 보인다. 기상청에서 발간한 한국기후표(KMA, 2001)에 의하면 우리나라 22개 일사관측기상대에서 1981년부터 2000년까지 20년간 관측된 자료를 토대로 계산해보면, 연평균 일간 적산일사량은 11.02 MJ m⁻² (강릉)에서 21.42 MJ m⁻² (충주) 범위이다. 한편 1971년부터 1980년까지 10년간 19개 농업기상관측소에서 측정한 일사량은 이보다 값이 커서 16.46 MJ m⁻² (거제)에서 27.41 MJ m⁻² (강화)에 이른다. 따라서 본 실험에서 확인된 추정오차 1.61 MJ m⁻² 은 일 평균 일사량의 10% 정도에 해당한다고 볼 수 있다. 일반적으로 농업용으로 쓰이는 일사측기의 허용오차가 표준측기(에플리일사계)의 ±5%인 점을 감안하면 일단 10%의 RMSE는

실용성이 떨어지는 것으로 판단할 수 있다.

추정오차를 월별로 분석해보면 대체로 4월부터 10월 사이에는 RMSE가 0.5에서 1.0 정도로 평균에 비해 오차가 작고 나머지 계절에는 평균에 비해 오차가 크다는 사실을 확인할 수 있다(그림 30). 4월부터 10월 사이는 우리나라에서 주로 재배하는 여름작물의 재배 기간에 해당하므로 이 시기의 추정오차가 작다는 사실은 지형보정에 의한 일사량 추정값이 연평균값에 무관하게 실용성이 있다는 것을 보여준다.

경사형별로는 동향과 서향 경사면을 제외한 모든 경사면에서 이처럼 4월에서 10월까지의 추정신뢰도가 높고 11월에서 이듬해 3월까지의 신뢰도가 떨어지는 양상을 보인다. 동향사면과 서향사면에서는 이와는 반대로 추정오차가 재배기간에 높고 겨울철에 낮아진다.

월별로는 경사향에 무관하게 10월에 가장 오차가 작은 반면, 11월은 경사향에 따른 오차의 변동폭이 가장 큰 달이다. 서향사면에서는 연중 지속적으로 낮은 추정오차를 보이는데, 겨울보다는 오히려 5월부터 7월까지 작물재배기간 중에 추정오차가 약간 증가하는 특이한 양상이다. 동향사면도 서향과 유사한 양상이지만 전체적인 RMSE 값이 훨씬 크다. RMSE 값의 연중변동폭으로 보면 남향과 북향사면에서 가장 크고, 남서-남동-북서사면 순으로 줄어든다.

결론적으로, 이 방법은 여름작물의 생장기간인 4월부터 10월까지 적용할 수 있으며, 추정일사량의 신뢰도는 실측값 $\pm 5\%$ 범위이다. 태양고도가 급격하게 낮아지는 11월부터 춘분점에 이르기까지 5개월 정도는 추정오차가 크기 때문에 먼저 그 원인을 밝히고 추정법을 개선한 다음 적용해야 할 것이다. 아직 반영되지 않은 문제점 가운데 일출몰 시 수평면에서 태양고도가 0일 때 이론상 청천일사량은 0이지만, 동향 혹은 서향경사면에서는 사면각도에 따라 0 이상이 될 수 있는 점이 있다. 앞으로 다양한 환경조건에서 추가적인 검증실험을 거친다면 이 방법의 신뢰도를 개선할 여지는 충분할 것으로 판단된다. 우선 작물재배기간 중이라도 이 방법을 적용하여 복잡지형 상의 정확한 일사수광량 분포를 알아낸다면 농림업 분야 모델링연구에 기여할 것으로 기대된다.

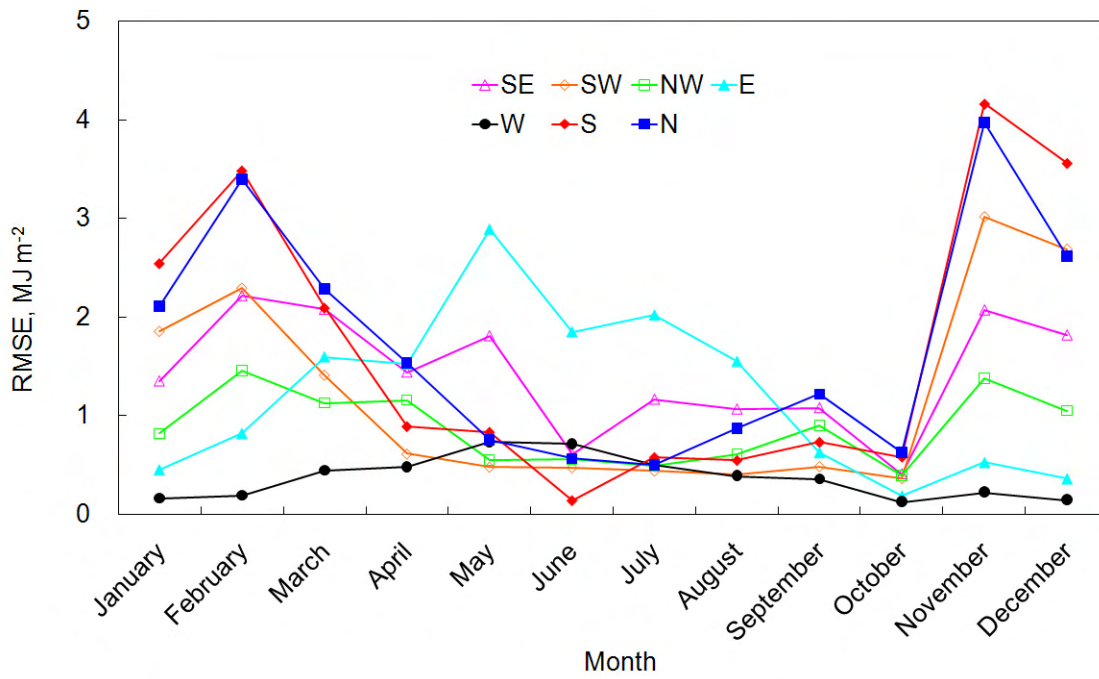


그림 30. 경사향에 따른 추정일사량의 월별 RMSE(the root mean square error)

제 3 절 강수

1. 산악 강수추정모형

강수현상은 시공간적으로 불연속적이어서 강수량의 공간변이는 다른 기상요소에 비해 훨씬 크다. 특히 넓은 토지를 기반으로 하는 농업에 있어서는 면적강수량이 중요하기 때문에 기존 기상관측망에서 얻을 수 있는 지점(point) 강수량자료로부터 면적(areal) 강수량을 추정하거나 규칙적인 격자점의 값으로 변환하는 기법이 개발되어왔다. 이들을 정리해보면 기술의 진보에 따라 thiessen polygon이나 등우량선도 작도와 같은 graphical method로부터, 관측된 강수량과 관측점 지형특성 간 상관을 이용하는 topographical method를 거쳐, IDSW나 Krigging으로 대표되는 numerical method로 발전해 왔음을 알 수 있다. 이들 가운데 최근 10여 년간 가장 널리 이용된 방법은 DEM과 산악강수모형을 결합한 PRISM (parameter - elevation regressions an independent slopes model)으로서 미국의 평년 아날로그 강수기후도는 이 방법을 적용한 디지털 강수기후도에 의해 대체되었다(Daly *et al.*, 1994). 산악강수모형은 강수량에 미치는 해발고도의 영향을 단순회귀식으로 표현하되, 산악의 경사방향, 거리, 고도, 해양도 등에 의해 가중회귀계수를 지점마다 달리 추정하도록 한 것이다. 우리나라에서도 25km 해상도의 수치예보모형 출력물을 5km 해상도(동네예보)로 변환하는 과정에 이미 K-PRISM이란 이름으로 적용한 바 있으므로(한국기상학회, 2006), 연구에서도 이 모형을 사용하여 강수량을 추정하였다.

PRISM의 특징은 영역 내 모든 격자점에 동일한 회귀식이 적용되는 일반모형과는 달리 각 격자점의 강수량 추정에 사용되는 고도-강수량 회귀모형이 격자점마다 독립적으로 도출된다는 점이다. 회귀모형 도출에 필요한 관측점의 개수는 최소 3개이므로 PRISM에서는 원래 각 격자점을 중심으로 반경을 30, 40, 50km 등으로 늘리면서 이 범위 안에 최소 3개 관측소가 들어오도록 결정하였는데, 본 연구에서는 소기후추정모형의 적용단위가 이미 표준유역으로 결정되어 있으므로, 표준유역 몇 개씩을 합쳐서 최소 5개 관측소가 포함되는 중규모 유역(중권역)을 설정한다. 유역의 범위가 확장되었을 뿐 아니라 강수량은 다른 기후요소에 비해 소지형에 따른 변이가 크지 않으므로, 30m 격자점을 기본으로 하는 다른 소기후모형과 달리 강수량추정모

형의 적용단위는 일단 270m 격자점으로 설정한다.

임의 격자점의 최적회귀모형 도출시 사용되는 주변 관측자료의 가중치는 다음 식으로 결정된다.

$$W = \sqrt{F_d W(d)^2 + F_z W(z)^2} \quad \text{-----} \quad (19)$$

위 식에서 W(d)는 거리의 가중치로서, 추정격자점과 관측격자점이 일치하면 최대 가중치(즉 1)를 부여하고, 멀어질수록 거리제곱의 역수에 비례하여 줄인다.

$$W(d) = \frac{1}{(0.05d)^a} \quad \text{-----} \quad (20)$$

주의할 점은 여기서 거리의 단위는 m나 km가 아니라 격자점의 갯수로 표현된다는 것이다. 우리나라에 적용한 K-PRISM의 격자간격이 5km이므로 추정격자점으로부터 반경 5km 이내에 포함되는 관측소의 강수량은 가중치가 1이라는 뜻이 된다. 본 연구에서는 5km 격자점 대신 270m 해상도를 사용하므로 분모의 d에 0.05를 곱해서 반경 5km보다 멀리 떨어진 관측소에만 이 식이 적용되도록 하였다. 거리가중지수 (distance weighting exponent) a는 통상적으로 많이 쓰는 2를 사용했으므로 IDSW(inverse distance squared weighting)과 동일하다. F_d와 F_z는 가중치 중 거리와 고도가 차지하는 중요도로서 각각 0.8과 0.2이다.

W(z)는 고도의 가중치를 의미하는데, 거리와 마찬가지로 고도차가 커지면 두 지점 간 강수량의 유사성이 점차 줄어들어 어느 수준에 도달하면 상호 관련이 없어진다. 고도차가 얼마만큼 벌어져야 가중치가 달라지기 시작하며, 고도차가 계속 증가하여 어느 수준에 도달하면 전혀 무관한 값이 되는지는 경험적으로 결정되는 최소 및 최대임계고도차로 표현한다.

$$W(z) = 1 \quad \text{for} \quad \Delta z \leq \Delta z_m$$

$$W(z) = \frac{\Delta z_m}{\Delta z^b} \quad \text{for} \quad \Delta z_m < \Delta z < \Delta z_x \quad \text{-----} \quad (21)$$

$$W(z) = 0 \quad \text{for} \quad \Delta z \geq \Delta z_x$$

여기서 Δz 는 관측소와 해당 격자점의 고도차(단위 m)이고 $\Delta z_m, \Delta z_x$ 는 최소 및 최대임계고도차로서 각각 100m와 500m를 사용하였다. 고도가중지수(elevation weighting exponent) b 는 일차원 IDSW와 같이 1로 둔다.

$W(f)$ 는 지향면(facet)의 가중치로서 격자점의 지향면(경사방향)이 관측소가 위치한 토지의 지향면과 차이가 클수록 감소한다. 경사방향은 8방위로서 북향(330~30도)으로부터 시계방향으로 1, 2, 3, . . . , 8(북서, 300~330도)로 수치화 하면 된다.

$$W(f) = 1 \quad \text{for} \quad \Delta f \leq 1 \text{ and } B \leq 20$$

$$W(f) = \frac{1}{(\Delta f + 0.05B)^c} \quad \text{for} \quad \Delta f > 1 \text{ or } B > 20 \quad \text{-----} \quad (22)$$

여기서 Δf 는 격자점과 관측점 사이의 지향면 경사방향 편차(0 ~ 4)이다. 두 지점의 경사방향이 서로 다를수록 강수량의 유사성이 줄어든다는 의미이다. B 는 해당 격자점과 강수관측소 사이에 존재하는 ‘장애물’(barrier)의 수인데, 두 지점을 직선으로 잇고 이 직선 상에 놓여있는 격자점의 경사방향과 해당격자점 경사방향을 비교하여 그 편차가 2이상인 격자점의 개수이다. 이 값에 0.05를 곱한 것은 K-PRISM의 격자간격이 5km인데 본 연구에서는 270m 격자점을 사용한 점을 고려한 것이다. 지향면 가중지수(facet weighting exponent) c 의 값은 해안산악의 경우 2.0, 내륙산악의 경우 대체로 1.5로 둔다.

원래 PRISM에는 이 밖에도 cluster, vertical layer, coastal proximity, effective terrain 등을 가중치로 사용하고 있지만, 국내조건에 맞지 않거나 영향력이 적어서 제외해도 큰 문제는 없는 것으로 보고되었다. 따라서 앞에서 언급한 거리, 고도, 지향면의 가중치만 고려하여 격자점별 해당 우량관측자료의 최종가중치를 계산하면 될 것이다. 이들 가중치는 관측강수량에 적용하여 가중강수량자료를 만드는데 사용될 것이다.

다음에는 가중강수량을 종속변수, 관측소의 고도값을 독립변수로 두고 각 격자점별 고유 회귀모형을 도출해야 하는데, 이를 위해 다음과 같은 가중최소자승법

(weighted least square method)을 사용하였다. 즉 최적회귀모형의 형태가 다음과 같을 때,

$$\hat{y} = \beta_1 x + \beta_0$$

여기서 $\beta_1 = \frac{\sum W_i(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum W_i(x_i - \bar{x})^2}$, $\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$ 이며 ----- (23)

$$\bar{x} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i}$$

x_i 는 관측소 고도, y_i 는 관측소의 월강수량이다.

도출된 회귀모형에 의해 추정된 강수량이 비현실적으로 낮거나 높아지는 경우를 방지하기 위해서는 유효 기울기의 범위를 설정하는 것이 필요하다. 우선 최소기울기가 0보다 작은 경우를 방지하기 위해 도출된 β_1 값이 0보다 작으면 β_1 을 0으로 설정하였다. 계산된 β_1 이 2 이상일 경우 β_1 값을 2로 대체한다.

2. 강수기후도 제작

이렇게 하여 전국 1,275,274개 격자점(사방 270m)에 대하여 도출된 월별 최적회귀모형에 격자점의 DEM 고도를 입력시켜 격자점의 강수량을 순차적으로 추정하였다. 먼저 중권역(그림 31)의 강수량분포도를 제작한 다음, 이들 중권역 강수량 분포도를 모자이크식으로 결합하여 남한 전역의 강수기후도를 완성하였는데, 경계면(분수령)에 인접한 양쪽 4개 격자점 값을 평활화 함으로써 유역간 불일치를 해소하였다.

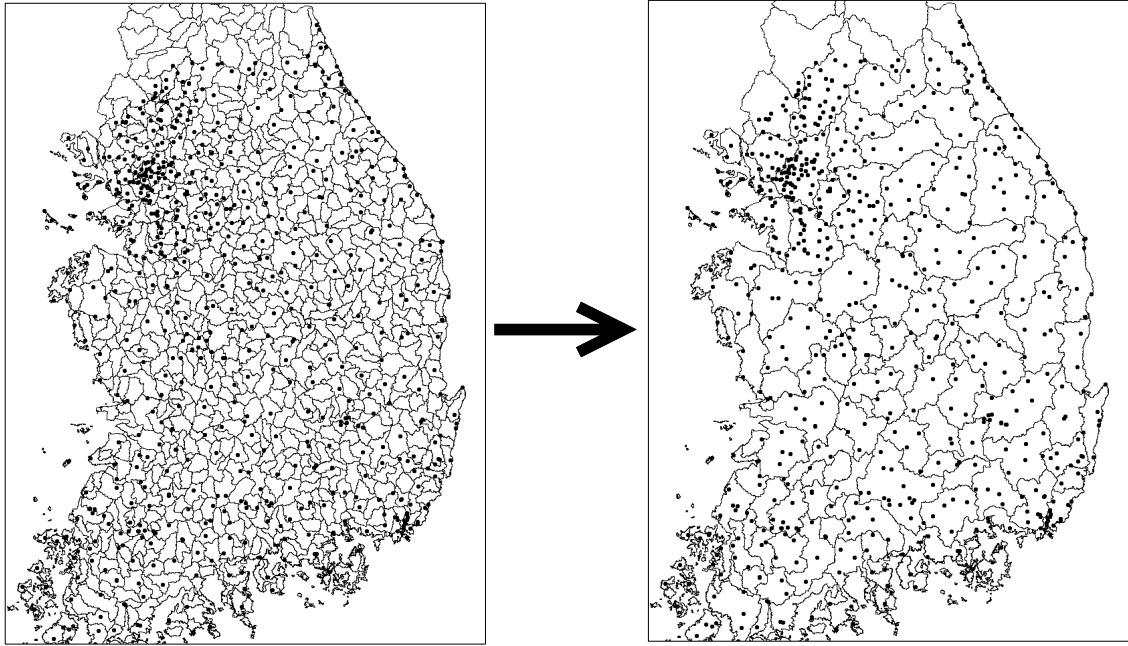


그림 31. 강수관측점의 위치와 표준유역(좌) 및 PRISM 적용 중권역(우)

그림 32는 연간 총강수량의 전국분포와 함께 광릉수목원 부근과 지리산 부근의 상세도를 보여준다.

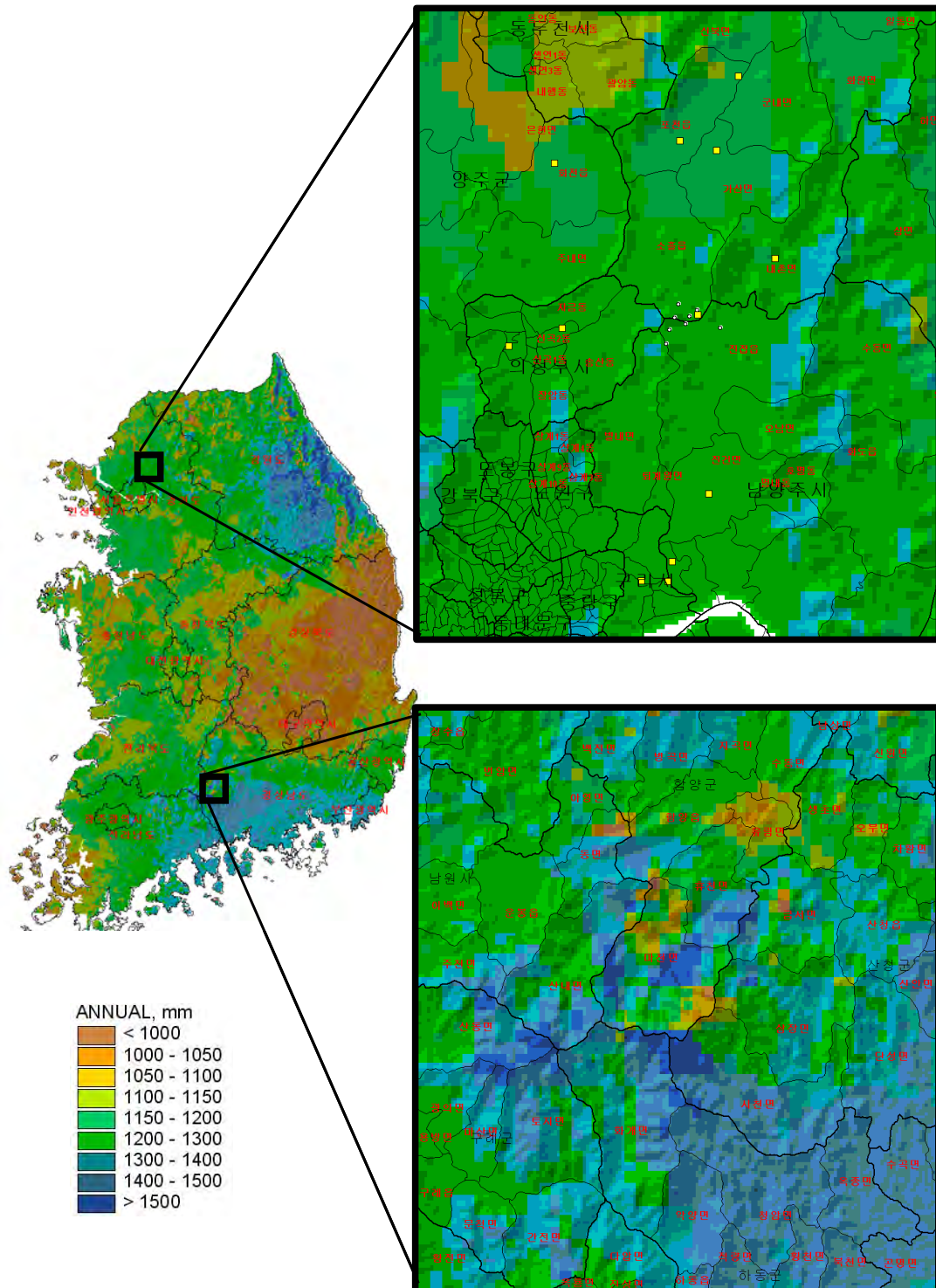


그림 32. 기후학적 평년(1971-2000)의 연간 적산강수량 추정분포도. 확대화면은 각각 광릉수목원(상), 지리산국립공원(하) 부근

3. 강수일수의 추정

강수일은 0.1mm 이상의 강수량이 관측된 날이다. 기상청 표준기상관측소와 자동기상관측소 및 한국수자원공사 우량관측소(<http://www.wamis.go.kr/>)가 포함된 총 705개소의 강수량자료를 이용하여 강수일수자료로 정리하였다. 표준관측소는 1971-2008년, 자동기상관측소는 2001-2008년, 수자원공사 관측소는 1991-2008년 자료를 수집하여 사용하였다. 1971년-1990년 강수일수는 자동기상관측소와 수자원공사 관측소 강수일수가 포함되어 있지 않으므로 평년에 대한 강수일수 제작을 위해서 추정이 필요하다. 때문에 2001-2008년 표준기상관측소 강수일수자료를 X축으로 두고 인근의 수자원공사와 자동기상관측소의 강수일수자료를 각각 Y축으로 두어 회귀식을 유도하였다. 유도된 회귀식에 1971년-1990년의 표준기상관측소 강수일수자료를 통해 1971년-1990년의 자동기상관측소와 수자원공사 관측소 강수일수를 추정하였다. 추정된 강수일수로 4대강과 산맥분포를 고려하여 나눈 4개 권역으로 IDSW에 의해 내삽하여 해상도 270m의 강수일수를 제작하였다(그림 33). 1981-2010평년과 1971-2000평년의 경향은 전반적으로 증가하는 것으로 보이며 1월과 8월 각각 최대 4일, 6일 차이가 나타난다. 이는 기상청 보고서에서 분석된 1988-2007년도 표준기상관측소 22개 지점의 강수일수 증가하는 경향과 같다.

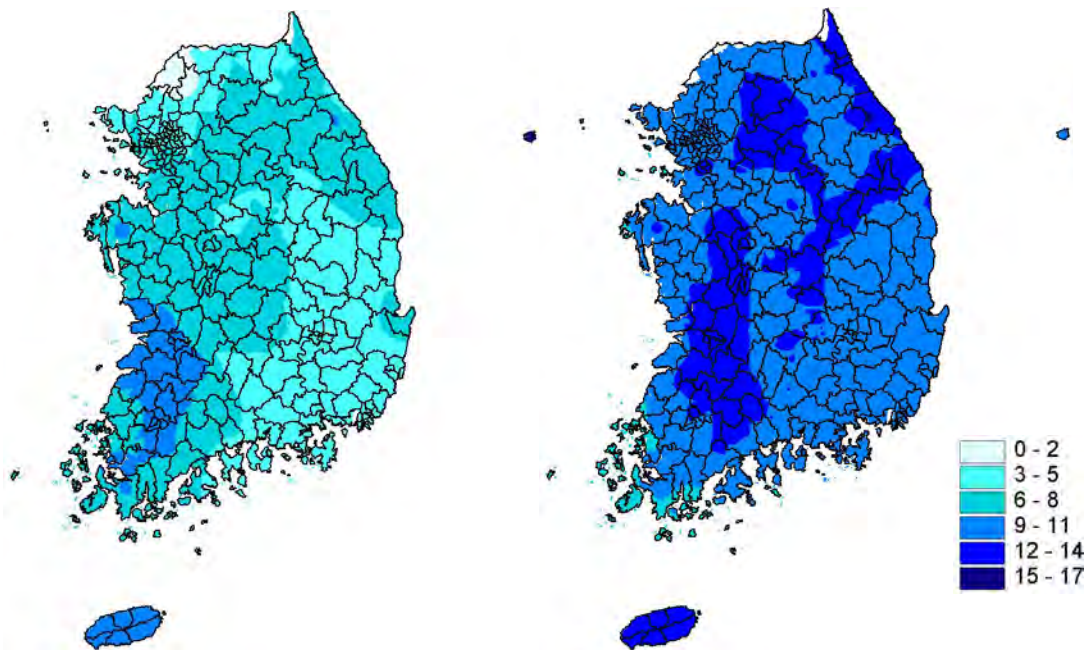


그림 33. 평년(1971-2000)의 1월(좌)과 8월 강수일수(우)

4. 추정 강수량의 신뢰성 검증

가. 강수모형의 신뢰성

전국 1,275,274개 격자점(사방 270m)에 대하여 각각의 강수량에 미치는 최근린 강수관측소 5개의 영향을 가중치로 표현하였다. 그림 34는 이 가운데 경기도 북부 퇴계원수위표 표준유역을 대상으로 270m 해상도의 격자점별 종합가중치를 관측소별로 계산한 것을 보여준다. 이 관측소별 종합가중치는 격자점과 우량관측소 간의 거리, 고도의 편차, 경사방향(지향면)의 편차를 각각 추정하여 식 (19)에 의해 종합한 것으로서, 해당 격자점의 고도-강수량 간 회귀계수 추정에 쓰이는 가중평균강수량을 얻는데 사용된다. 퇴계원수위표 유역에는 5개의 강수관측소가 있는데 각 격자점의 가중평균강수량 추정에 미치는 관측소별 영향정도가 거리는 물론 고도편차, 지향면 편차 등 주요지형의 특성과 함께 반영되어있다.

퇴계원수위표 표준유역에 대해 2007년 1월부터 12월까지 매월 강수량분포를 PRISM 모형에 의해 5km 격자와 270m 격자 기반으로 추정한 것이 그림 35이다. 일단 5km에 비해 270m 해상도에서 훨씬 정교한 지형효과가 강수량에 반영된 것처럼 보인다. 하지만 이 지역의 강수량분포가 실제로 이런 형태를 보일지 확인할 방법은 없다. 가장 이상적인 방법은 모든 격자점에 우량계를 설치하여 추정오차를 직접 얻는 것이지만 현실적으로는 기존 우량관측망이 위치한 격자점만 제한적으로 검증에 이용하는 방법이 가능하다. 전 국토를 270m 격자점으로 표현할 경우 남한지역은 1,275,274개로 구성된 격자망이지만 이들 가운데 강수량 추정에 사용된 432개를 제외하면 검증에 이용할 수 있는 실측 강수량 자료를 보유한 격자는 166개에 불과하다.

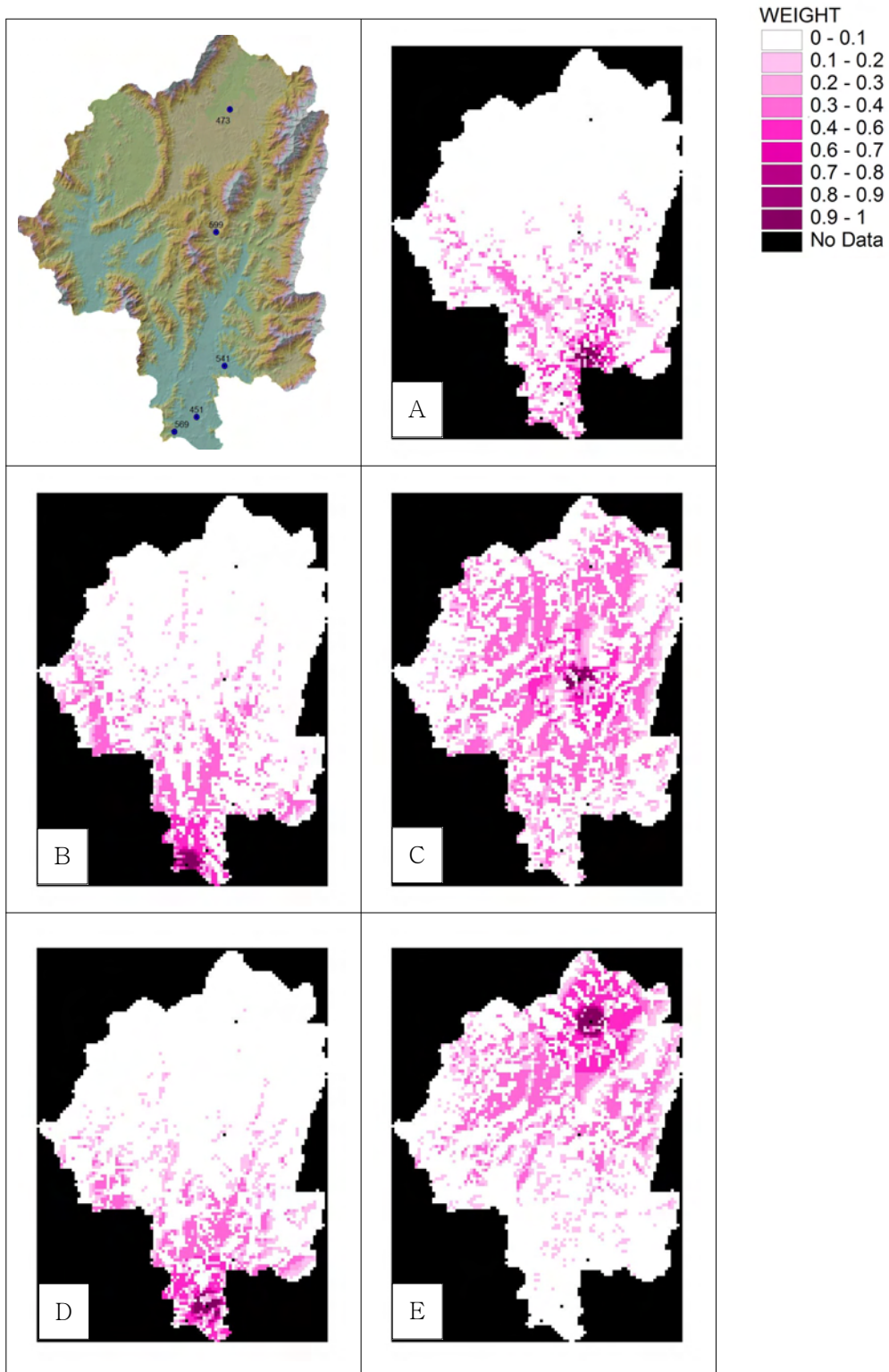


그림 34. 경기도 북부 퇴계원수위표 표준구역에서 5개의 관측소별로 계산된 격자점별 종합가중치. A부터 E까지의 각 패널들은 최적회귀계수로부터 유도됨

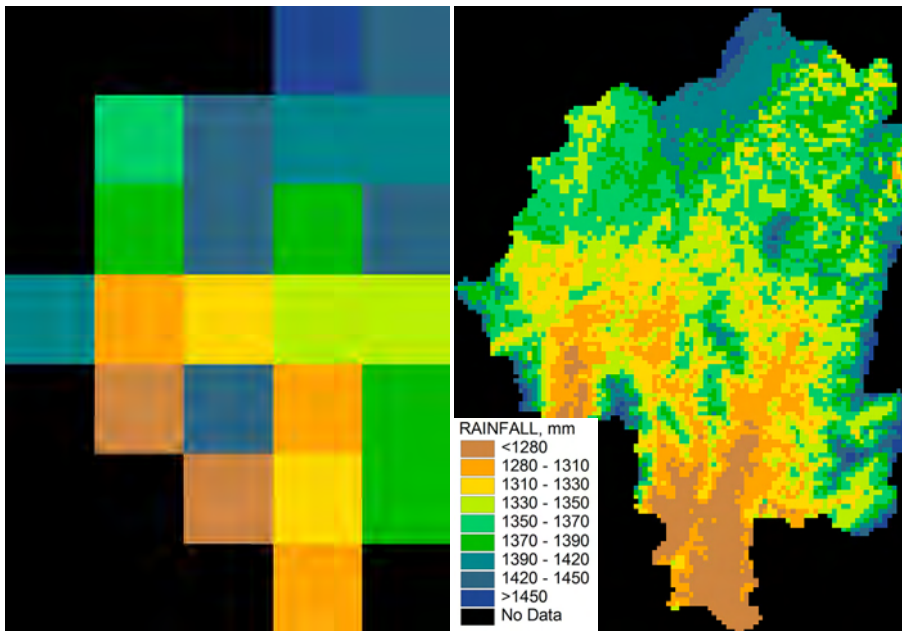


그림 35. 퇴계원수위표 표준유역에 대해서 5km격자와 270m 격자를 기반으로 추정한 연강수량분포

나. 추정강수량의 신뢰성

PRISM의 단위격자점 해상도를 270m로 높인 경우 추정값의 상대적인 정확도를 기존의 5km 단위격자에서 추정된 강수량과 비교하였다. 이를 위해 남한 전역의 고해상도 수치표고모델은 환경부 환경지리정보서비스로부터 수집하였으며, 입력 강수자료로는 기상청 무인기상관측소 432개에서 2007년 1월 1일부터 12월 31일까지 관측한 강수자료로부터 월별로 적산강수량을 계산하였다. 식 (19)에 의해 각 격자점의 근린 우량관측소별 가중치를 월별로 계산하고, 식 (23)에 의해 각 격자점의 최적 회귀모형을 역시 월별로 유도하였다. 이렇게 해서 전국 1,275,274개 격자점(사방 270m)에 대하여 작성한 월별 최적회귀모형에 격자점의 DEM 고도를 입력시켜 격자점의 강수량을 추정하였다. 이 방법에 의해 추정된 2007년 월별 강수량분포도로부터 같은 해 한국수자원공사 166개 강수량 관측소에 해당하는 격자점의 추정값을 추출하고 이를 같은 장소에서 실측한 강수량과 비교하였다. 한국수자원공사의 166개 우량관측소의 평균 해발고도는 313m이고 이들 가운데 44%는 해발 300m 이상의 고지대에 분포하며 100m 이하의 평야지에는 12%만이 분포한다. 따라서 관측지점을 포함하는 270X270m 격자점의 경사도 역시 평균 7도에 이른다. 대부분 백두대간에 분포하고 있어 우리나라의 복잡한 지형특성이 잘 반영된 강수기록이다. 특히 강수량 추정에 사용된 기상청 자동기상관측망과는 전혀 겹치지 않으므로 해상도를 높인 PRISM의 성능검증을 위해서 적합한 독립자료라고 할 수 있다(그림 36). 이 때 성능 비교의 기준으로서 기존 5km 해상도의 K-PRISM 방식에 의한 강수량추정값을 사용하였다.

격자점의 크기를 270m로 줄임에 따라 강수량 추정값에 반영될 것으로 기대되는 미세지형효과는 산악지역에 설치된 166개 한국수자원공사 우량관측소의 실측 강수량에 의해 제한적으로 확인할 수 있다. 이들 관측소의 자료에 의하면 2007년 전국적으로 8mm(1월)~390mm(9월)의 비가 내려 연간으로는 1,455mm가 기록되었다(표 5).

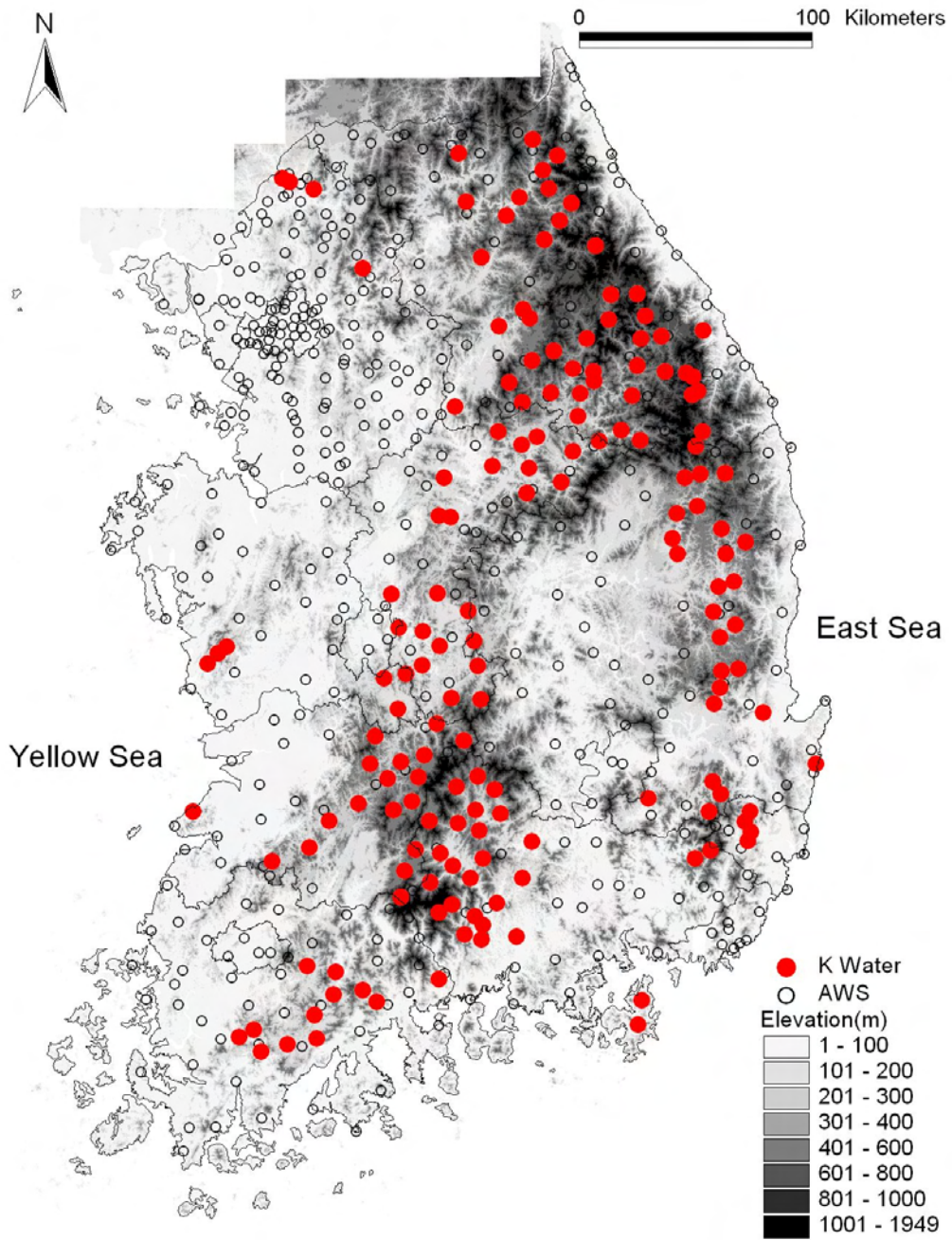


그림 36. 432개소 자동기상관측망(AWS)과 166개소 한국 수자원공사 강우량 관측소 위치

표 5. 2007년 남한 산악지형의 166개소에서 관측한 월 강수량과 PRISM으로 추정된 월 강수량 비교

	Month											
	Jan.	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
	Mean of measured precipitation (mm)											
	8	41	113	31	107	104	232	374	390	42	13	24
Cell Spacing (m)	RMSE of PRISM estimated precipitation (mm)											
5,000	7.7	8.5	27.4	10.1	27.9	30.7	51.0	97.3	79.3	16.7	13.9	6.4
270	6.4	9.0	24.7	10.2	23.6	27.6	43.6	89.3	68.3	16.0	14.1	6.3
	Coefficient of Variation (%)											
5,000	96	21	24	33	26	30	22	26	20	40	107	27
270	80	22	22	33	22	27	19	24	18	38	108	26
RMSE reduction (%)	-16.9	5.9	-9.9	1.0	-15.4	-10.1	-14.5	-8.2	-13.9	-4.2	1.4	-1.6

먼저 기존의 5X5km 격자점에 근거한 PRISM 추정강수량은 실측값과의 편차가 RMSE로 표현했을 때 12월의 6.4mm로부터 8월의 97.3mm까지 폭넓게 분포한다. 하지만 월별 RMSE를 그 달의 실측강수량으로 표준화 시켜 변이계수를 구해보면 100%에 달하는 1월과 11월을 제외할 경우 월별 변동폭이 평균 27%로 크게 줄어든다. 즉 PRISM에 의한 강수추정오차는 월별로 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

동일한 방법으로 강수량을 추정하되 공간분해능을 5km에서 270m로 높이면 추정오차는 RMSE로 표현해서 12월의 6.3mm로부터 8월의 89.3mm까지 변동한다. 실측 강수량에 의해 표준화시키면 역시 강수량이 매우 적은 1월과 11월을 제외할 경우 월별로 25% 수준의 오차변이계수가 계산된다.

두 가지 격자점 크기에서 발생한 추정오차를 단순비교해보면 2월, 4월, 11월을 제외하고는 모든 달에서 월별 강수량 추정오차가 270m 해상도에서 줄어드는 것을 볼 수 있다. 특히 월 강수량이 100mm가 넘는 경우 5km 해상도에 비해 추정오차를 상당부분 줄일 수 있는데 감소폭은 8.2%에서 최대 15.4%로서 평균 10%에 달한다. 반

면 월 강수량이 50mm 이하인 경우에는 추정오차의 변화에 일관성이 없거나 개선효과가 나타나지 않았다. 관측망의 밀도를 그대로 둔 채 DEM의 해상도만 변경함으로써 이 정도의 오차감소효과를 얻은 것은, 당초 기대했던 대로 PRISM 추정강수량에 미세지형의 효과가 반영된 것으로 해석할 수 있다.

제 4 절 농업기후지대구분

1. 평년 월별기후로부터 일별 기상자료 추출

기후자료를 이용하여 영향평가를 시도할 때 가장 흔한 방법은 대상생태계의 식물 레이션모형을 이용하는 것이다. 대개의 모형들이 일별자료를 입력용으로 요구하기 때문에 생태기후도 제작을 위해서는 월별 기후자료를 다시 일별 시간간격으로 복원해야 한다. 가장 간단한 방법은 12개의 월별 평균값으로부터 조화분석에 의해 일별 평균값을 추정하는 것이다. 즉 각 10년 기간 중 일 최고 및 최저기온의 월별 평균값을 추출한 다음, 이를 토대로 Fourier 확장에 의해 일 최고 및 최저기온을 다음과 같이 생성한다(Seino, 1993). 월일을 각각 i, j 로 두면, 임의의 날짜 j 의 기온 T_j 는 3월에서 7월까지

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \frac{(j+16)}{365} 2\pi \cdot k \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \frac{(j+16)}{365} 2\pi \cdot k \right]$$

8월에서 2월까지

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \frac{(j+15)}{365} 2\pi \cdot k \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \frac{(j+15)}{365} 2\pi \cdot k \right] \quad \text{----- (24)}$$

로 표현할 수 있다. 이 식에서

$$B_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (T_i), \quad B_k = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{12} (T_i \cos \frac{ik\pi}{6}), \quad C_k = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{12} (T_i \sin \frac{ik\pi}{6})$$

이다.

본 연구에서는 이 방법을 이용하여 1971-2000 및 1981-2010 평년의 일별 기상자료를 각 격자점별로 생성하였다.

2. 농업기후지수(이차기후도) 제작

이차기후도란 기본기후도(기온, 일사, 강수)를 이용하여 평균, 적산, 편차 등 통계량을 계산함으로써 농업적 활용가치를 높인 소위 농업기후지수의 분포도를 말한다.

가. 극최저기온

선행연구에 의하면 평년 일최저기온의 연차변이는 해발고도와 최저기온 평균값 등과 가장 관련이 깊고, 연차변이를 표준편차로 표현할 경우 1월의 경우 그 관계는 다음 회귀식으로 나타낼 수 있다(Jung *et al.*, 2004).

$$Sd = 1.36 - 0.0018Z - 0.232T \text{ ----- (25)}$$

여기서 Sd 는 30년 동안 일최저기온 1월 평균값의 표준편차(°C), Z 는 해발고도(m), T 는 일최저기온의 1월 평균(°C)이다.

위 회귀식을 이용하여 1971-2000(30년) 평년의 1월 최저기온 연차변이 분포도를 작성하였다. 이 분포도는 경험식에 근거한 전국의 평균적인 표준편차 분포를 나타 내긴 하나 지역적인 특징을 보여주기에는 부족하다. 이를 부분적으로나마 보완하기 위해 같은 기간 동안 56개 내륙 기상관서에서 실제 관측된 일최저기온의 표준편차를 준비하고, 연차변이 분포도에서 56개 내륙 기상관서에 해당하는 격자값을 추출하여 두 값 사이의 차이 즉 추정오차를 계산하였다. 56개 지점의 표준편차 추정오차를 대권역별로 분류하고 이를 이용하여 각각 거리역산 가중평균(inverse distance weighted mean)을 계산하고 이를 대권역별 표준편차 보정값으로 삼았다. 회귀식에 근거하여 작성한 최저기온의 연차변이 분포도에서 대권역별 표준편차 보정값을 적용함으로써 평년 1월 최저기온의 표준편차 분포도를 완성하였다.

56개 기상관서에서 지난 30년 간 관측된 매년 1월 일최저기온값 31개 가운데 가장 낮은 값 30개를 평균하여 평년의 1월 최저기온이라 정의하였다. 이 값을 이용하여 거리역산 가중평균을 계산하였다. 4개 대권역별 표준기상관측소의 해발고도로 작성된 가상지형과 실제 해발고도(환경부 30m DEM) 사이의 차이를 구해 표고편차 분포도를 작성하였다.

일최저기온의 모집단이 정규분포에 가깝다고 가정하면, 재현확률별 1월 최저기온의 하강분은 평년 1월 최저기온 표준편차에 표준정규분포의 재현확률에 해당하는 z 값을 곱해 준 값이다. 재현확률별 표준정규분포의 z 값은 $P = 1/10, 1/30, 1/100$ 일 때

각각 1.28, 1.84, 2.33이므로 앞에서 작성된 평년 1월 최저기온 표준편차 분포도에 이들 z값을 적용하여 격자점별 기온하강분을 계산하고, 이를 평년 1월 최저기온 분포도에서 빼줌으로써 재현기간에 따른 1월 최저기온 분포도를 제작하였다. 그림 37은 평년, 재현기간 10년, 30년의 1월 최저기온 분포도(극최저기온)이다.

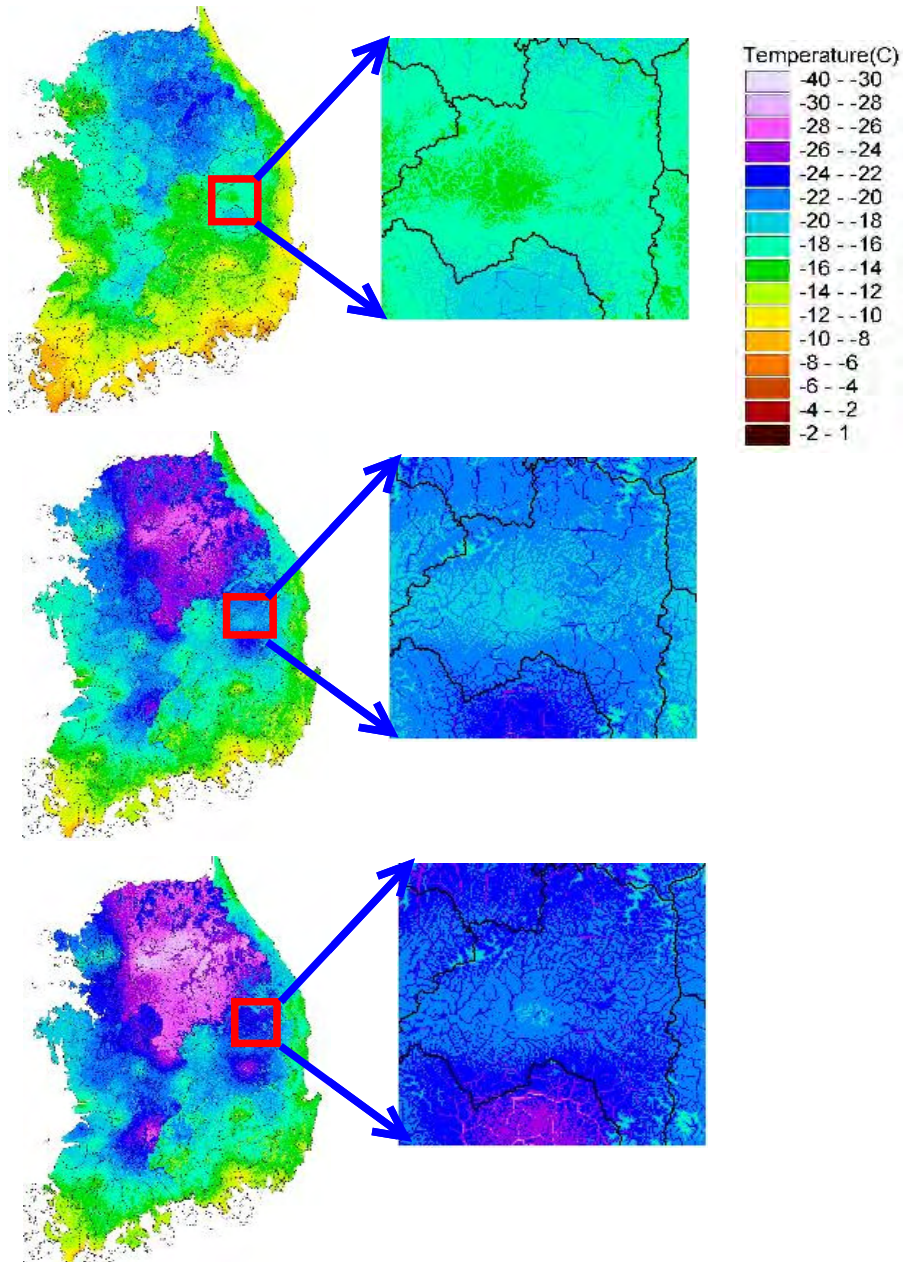


그림 37. 평년(1971-2000), 재현기간 10년, 30년의 극최저기온 분포도

나. 성장개시일, 성장종료일

성장개시일은 작물별 성장개시온도(기준온도) 이상으로 일 평균기온이 올라가는 첫째 날(예, 기준온도 = 0℃ 라면 0℃ 이상이 되기 시작한 날짜)을 지도 위에 표현한 것이다(그림 38). 반대로 성장종료일은 작물별 성장가능 최저온도 이하로 일 평균기온이 내려가는 첫째 날(예, Tbase = 0℃ 라면 0℃ 이하로 내려가기 시작한 날짜)을 표현한다.

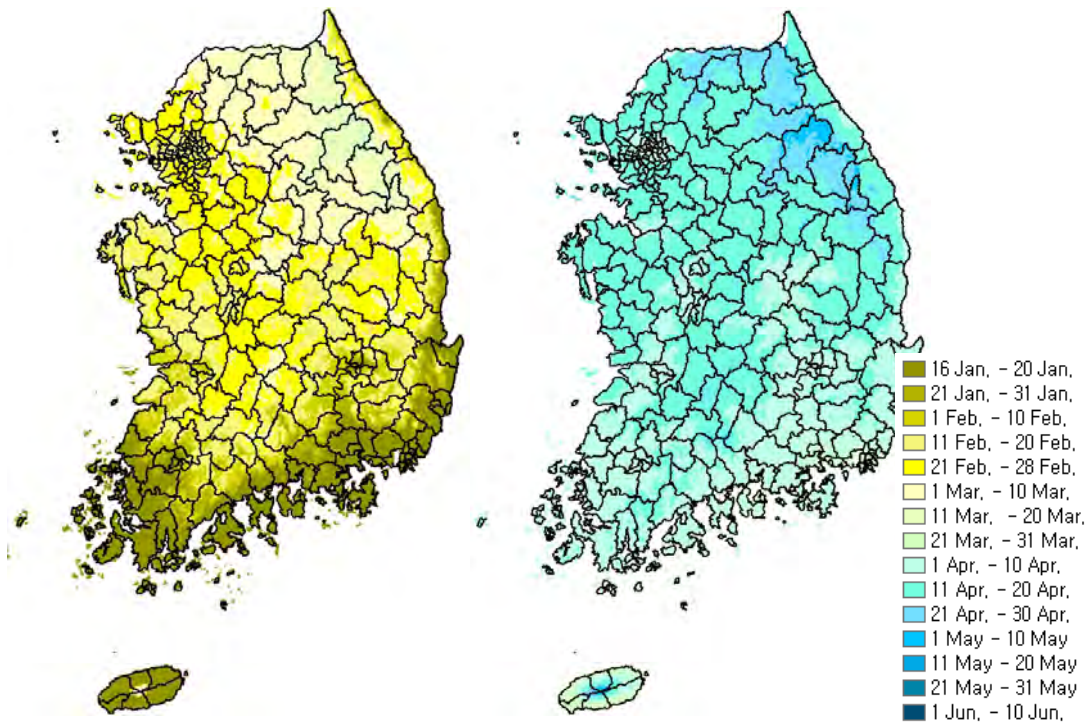


그림 38. 평년(1971-2000)의 성장개시온도 0℃일 때의 성장개시일(좌)과 10℃일 때의 성장개시일(우)

다. 성장유효적산온도(적산 GDD)

작물별 성장개시온도 이상에서의 누적온도, 즉 생육에 유효한 온도의 1년간 적산 값으로서 일 최고 및 최저기온에 의해 계산하였다. 그림 39는 성장개시온도를 0°C로 가정한 성장유효적산온도 분포도이다(Kim and Yun, 2008).

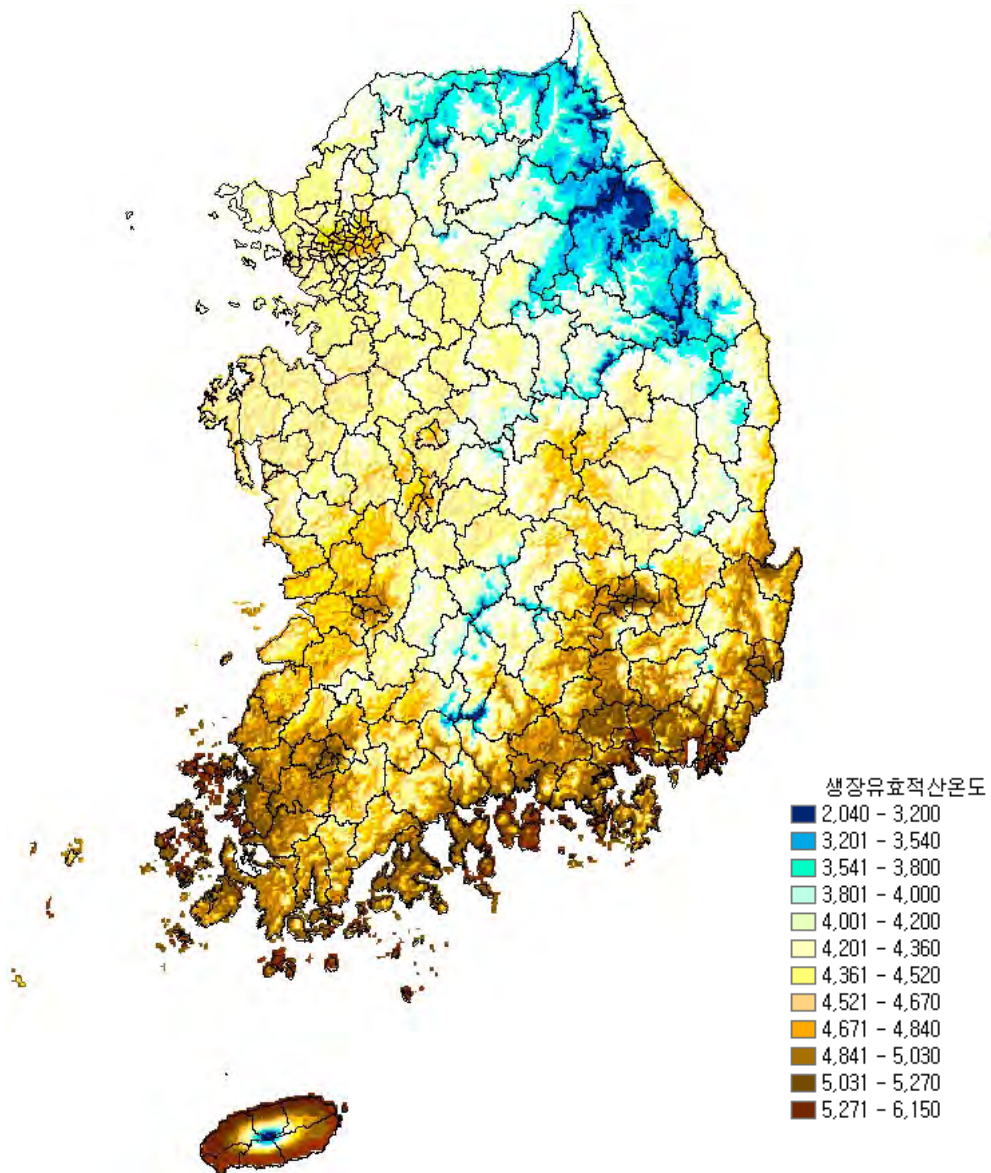


그림 39. 기준온도 0°C에 해당하는 평년(1971-2000)의 성장유효적산온도

라. 수확적기(생리적성숙기)

작물의 생리적 성숙에 필요한 최소한의 성장유효온도에 도달한 날짜로서, 주요 작물의 성장개시온도에 따라 제작가능하다. 그림은 좌상으로부터 시계방향으로 기준온도 0℃에서 계산된 GDD가 각각 3000, 3500, 4000, 4500에 도달한 날짜분포도이다.

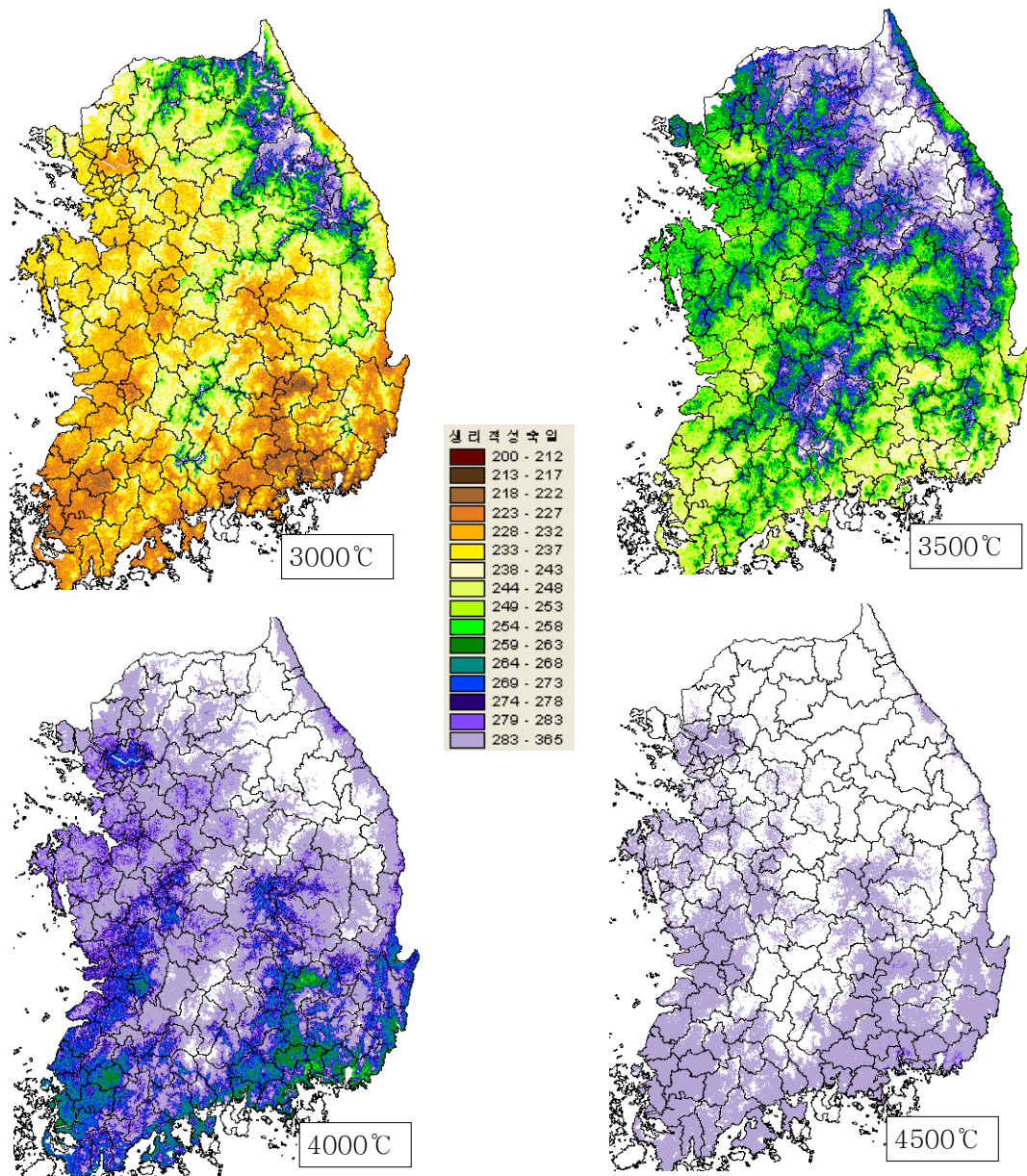


그림 40. 평년(1971-2000)에 대하여 유효적산온도가 3000℃, 3500℃, 4000℃, 4500℃에 도달한 수확적기(기준온도 0℃)

3. 식물생태반응지도(분석기후도) 제작

가. 생물계절모형의 적용

사용자(예, 농민) 입장에서는 기본기후요소나 농업기후지수처럼 작목 구분 없이 적용되는 일반정보보다는 본인이 재배중인 작목과 직접 관련된 기후정보가 더욱 요긴하다. 예를 들어 “우리 복숭아밭의 위치가 월동기간 중 동해에 취약하지는 않은지” 혹은 “새로 개원하려는 사과밭에 가장 알맞은 품종은 무엇인지” 등 실용적인 정보를 요구한다. 이 같은 “맞춤형” 수요는 해당 농업모형(예, 품종별 모수가 최적화된 작물생장모형)에 기후자료를 입력시켜 농작물의 반응을 예측하고 동일한 해상도로 표출함으로써 얻어질 수 있다. 특히 과수원은 한번 개원하면 최소 10년 동안 작목을 바꿀 수 없기 때문에 입지선정은 매우 중요한 일이다. 본 과제에서는 기후에 대한 생리생태반응이 알려진 몇 개 과수 품종에 대하여 1971-2000 및 1981-2010 평년의 기후조건에서 예상되는 생태반응 분포도를 제작하였다.

온대낙엽과수는 생장이 정지되는 월동기간 중 소위 휴면상태에 들어간다. 휴면상태는 월동기간 중 내동성, 월동 후의 발아, 출엽 등 중요한 생리적 과정과 깊은 연관이 있다. 일 최고 및 최저기온으로 구동되는 “휴면시계” 모형이 최근에 개발되어 휴면심도를 매일 추정할 수 있어 낙엽 이후 적산값은 온대낙엽수목의 휴면상태를 나타내는 지표로 사용될 수 있다(Kwon *et al.*, 2006). 본 과제에서는 사과(후지), 배(신고), 복숭아(장호원황도), 포도(캠벨얼리) 등 주요 과종에 대해 내생휴면해제일과 강제휴면해제일, 내동성지속기간, 발아일과 개화일을 계산하였다(그림 41).

매일 계산된 휴면심도가 식물별로 정해진 저온요구량(휴면해제에 필요한 최소량)에 도달한 날짜 즉 내생휴면해제일은, 이 날부터는 더 이상 발아나 출엽에 장애가 되는 생리, 유전 등 내재적인 요인은 없다고 간주된다. 만약 이 날짜를 정확히 알 수 있다면 시설원예농가에서는 이 날짜부터 가운을 시작하여 가장 효율적으로 축성 재배를 할 수 있다.

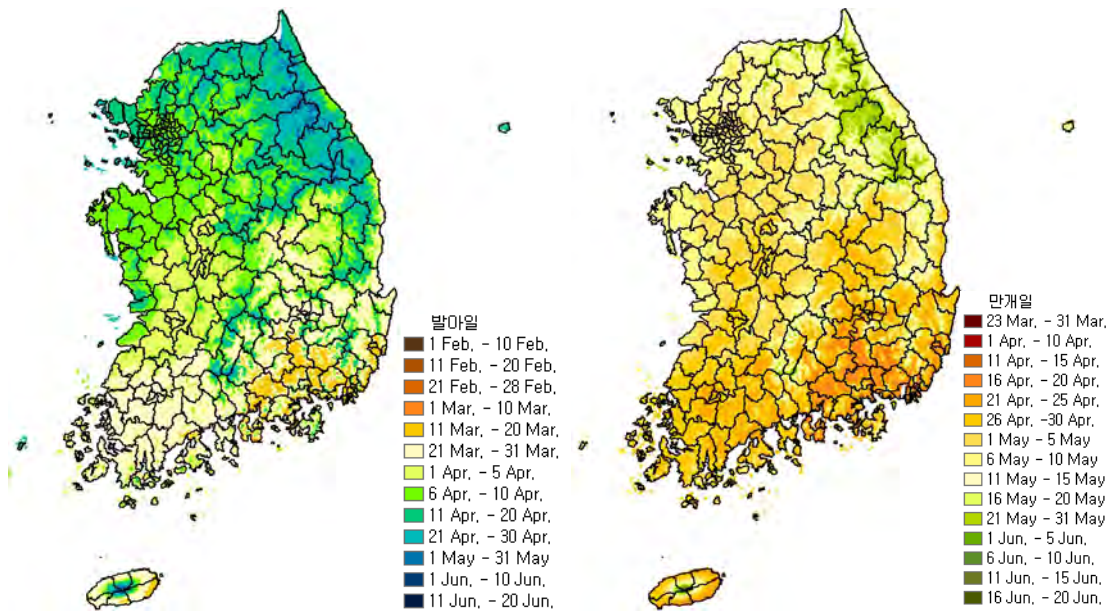


그림 41. 평년(1971-2000)의 사과 ‘후지’ 품종의 발마일(좌)과 만개일(우) 분포도. 만개일은 정상수세인 나무에서 70~80% 정도 개화되었을 때의 날짜임

식물의 내동성(cold tolerance)은 원칙적으로 물려받은 유전정보에 의해 정해지지만 생리적 단기내동성은 기온경과에 따라 그 획득 정도가 달라진다. 대체로 휴면심도가 최대값에 도달하여 내생휴면이 해제된 날부터 시작하여 기온이 상승하여 “강제휴면”이 해제되기 직전까지를 최대내동성 유지기간으로 간주한다(Kwon *et al.*, 2006). 평년의 일 최고, 최저기온 전자기후도를 이용하여 강제휴면 및 내생휴면 해제일을 추정할 다음 이들 간의 차이를 표현하였다.

“강제휴면” 해제 이후 성장유효 적산온도(GDD)가 식물별로 정해진 수준에 도달하여 꽃눈/잎눈이 터지는 날짜가 발마일이다. 발마일을 정확하게 추정할 수 있다면 발아시기 전후의 동상해 예방에 도움이 된다(Jung and Yun, 2006).

우리나라에서 지구온난화에 따른 “춥지 않은 겨울”이 지속되는 가운데서도 낙엽 과수의 동해발생 건수가 증가되어왔는데, 특히 장기간에 걸쳐 월동 안전지대로 확인된 과수주산지의 동해발생을 설명하기 위해서는 온난화에 따른 단기 내동성의 약화를 주목해야 한다. 우리나라처럼 겨울이 추운 곳에서는 월동가능성 여부가 입지조건 가운데 특히 중요하므로, 안정적인 기후조건에서는 기존의 내동성지도가 매우 유용한 의사지원도구가 된다. 하지만 기후변화가 이미 가시화된 지금은 최저기온에만 근거한 내동성지도보다는 월동기간 중 휴면심도 등 생리적 가변내동성을 고려한

새로운 내동성지도가 필요하다. 본 과제에서는 평년(1971-2000 및 1981-2010)의 기온 기후도와 휴면심도모형에 근거하여 주요 과수 품종의 월동기간 중 휴면심도를 추정하고, 같은 기간 중 발생한 극최저기온자료를 결합하여 동해위험 분포지도를 제작하였다(Chung *et al.*, 2009).

선행연구(Kim *et al.*, 2009a)에 의하면 최대 휴면심도를 유지하는 기간을 생리적 내동성 유지기간으로 간주하여도 크게 틀리지 않는다. 포도 ‘Campbell Early’의 경우 우리나라 대부분 지역에서 12월 중순부터 3월 상순까지 84일간 최대 휴면심도를 유지하며 한파내습이 이 기간에 집중되므로 이 품종은 월동에 유리하다(Chung and Yun, 2008). 물론 이 같은 현상은 오랜 기간 이 품종이 우리나라의 겨울날씨를 겪으면서 생리적인 내한성을 이용하여 적응해온 결과라고 할 수 있다. 1971-2000 기간 중 전국의 일별 기온자료를 휴면시계모형에 입력하여 추정한 장호원 황도 휴면심도 분포로부터 -108을 유지하는 기간을 계산해보면 약 60일로서 ‘Campbell Early’의 84일보다 짧았다. 겨울 동안 동해유발온도(-25℃)까지 기온이 내려가는 해에는 ‘Campbell Early’에 비해 황도가 월동에 불리하게 된다(Chung *et al.*, 2009).

동해발생 빈도가 높은 1월의 평균 휴면심도를 계산해보면 전체 국토면적 가운데 30% 정도는 1월 중 휴면심도가 -108을 유지하고 있어 생리적 내동성이 확보된 상태이다. 그렇지 못한 지역을 극 최저기온 예상도와 중첩시키면 피해위험도를 추정할 수 있다. 예를 들어 동해유발온도(-25℃) 수준의 한파내습 시 생리적 내동성을 충분히 확보하지 못한 지역은 피해를 입을 확률이 70%에 달하며, -20℃와 -15℃에 서는 30% 이상의 피해확률이 예상된다고 할 수 있다(Kim *et al.*, 2009a).

이와 같은 동해위험도 추정과정을 단순화하고 그 결과를 정량적으로 가시화 한 것이 동해위험지수이다. 같변피해의 경우

$$Risk(\%) = \frac{100}{1 + Ae^{(X+T_{min})D_{cd}}} \quad \text{-----} \quad (26)$$

로 표현되는데, 여기서 T_{min} 은 극최저기온이며 D_{cd} 는 휴면심도에 근거한 황도의 내한성으로서 다음 근사식에 의해 그 값을 추정할 수 있고 A와 X는 곡선의 형태계수이다.

$$D_{cd} = C((C_d | -108)^2 + D) \quad \text{-----} \quad (27)$$

여기서 C_d 의 최대값은 기준온도 5.7°C 에서 -108 이다. 저온에 의한 황도 휴면아의 발아장애를 표현하는 식은 다음과 같다.

$$Risk(\%) = Ae^{-T_{min}D_{cd}} \quad \text{-----} \quad (28)$$

평년 1월 중순에 황도 휴면아가 보유할 것으로 기대되는 휴면심도(생리적 내동성)와 10년 재현확률의 극 최저기온을 식 (26)과 (28)에 대입하여 갈변 및 발아실패 확률을 각각 계산하고 가중평균치, 즉 종합동해위험지수를 구하였다(그림 42).

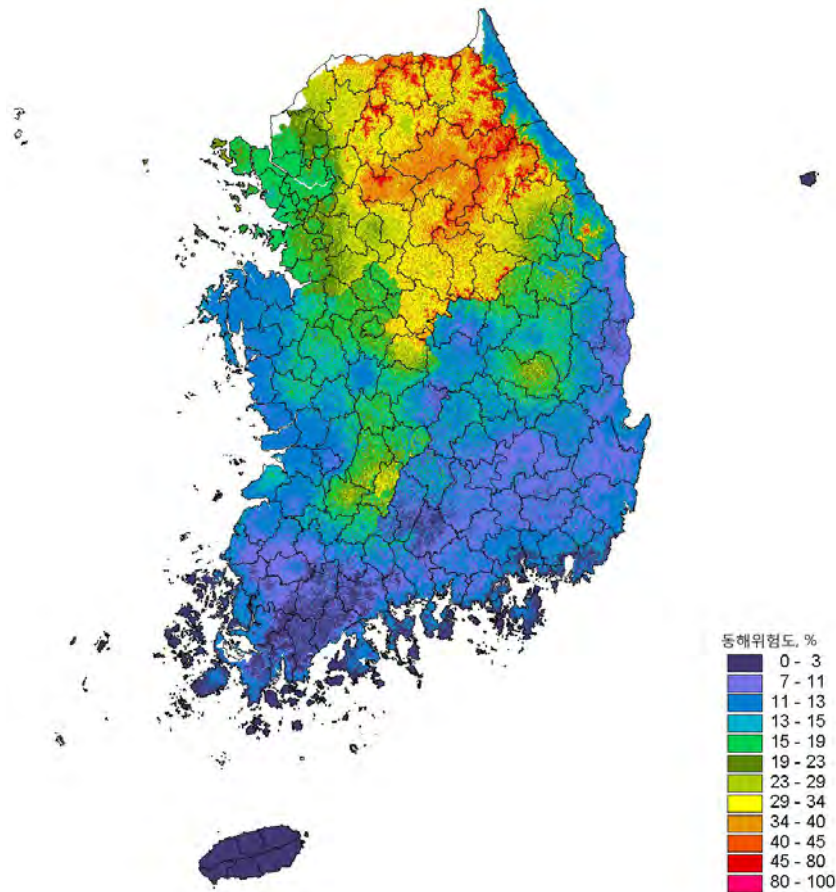


그림 42. 평년(1971-2000)에 대한 복숭아 '장호원황도'의 동해위험 분포도

나. 중첩분석에 의한 농업기후지대 구분 - 후지사과 재배적지 판정사례

식물의 생육은 토양특성, 비료, 강수량 및 관수, 일조시간, 병해충 등 여러 요인들의 복합적인 영향을 받으며 품질의 경우 과수의 수확 이후에도 처리과정에 따라 달라진다. 최적의 재배적지를 판정하기 위해서는 여러 요인들을 함께 고려해야 하는데 이러한 중첩분석을 용이하게 하는 것이 GIS 기술이다. GIS 기술은 점 단위의 데이터를 연속적인 공간분포로 표현할 수 있으며 고해상도의 GIS 레이어는 정밀한 지역 정보를 산출한다. 이를 이용하여 작물 및 과수의 재배적지 요소를 설정하고 각 조건들에 모두 부합되는 지역을 출력하여 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 지도로 표현 가능하다(Kim, *et al.*, 2009b).

재배적지 요인과 식물의 생육 반응을 디지털 값으로 표현하고 GIS layer로 변환하기 위해서는 모델링 기술이 필요하다. 본 연구를 통해 제작된 남한 전역 30m 해상도의 최고 및 최저기온 전자기후도를 바탕으로 온대과수의 만개기 분포도를 작성할 수 있고 동해위험지역 및 서리피해지역과 숙기 등을 알아낼 수 있으며 기온-품질 간의 관계를 통해 재배적지를 탐색할 수 있다.

사과는 우리나라에서 재배되고 있는 대표적인 온대과수 중 하나로서 만생종인 ‘후지’는 1970년대부터 1990년대까지 재식비율이 꾸준히 증가하여 가장 많이 재배되는 품종으로 자리 잡았다. 또한 후지의 고품질 조건인 anthocyanin 함량, L/D 비 및 hunter A 값과 기온과의 관계식이 정립되어 있다. 본 연구에서는 현재 기후조건에서 후지사과의 재배적지 판정기준에 해당하는 요인에 대해 GIS layer 를 제작하였으며, 이들 layer를 이용한 중첩분석을 통해 재배적지를 필지 단위로 파악하고자 하였다.

토지피복도, 경사도, 수치토양도 등이 분비되어 있으므로 중첩시켜 필요한 조건을 모두 만족하는 지역을 추출한 다음, 이들 토지에 대한 농업기후학적 2단계 선발과정을 거쳤다. 추정된 만개기와 종상일 간의 차이를 계산하여 만개기보다 종상일이 같거나 늦은 지역을 찾아내었다. 그와 같은 방식으로 첫서리가 발생한 날에 사과 만생종의 적산온도가 채워지지 않은 경우 즉 생육기간이 부족한 지역 역시 위험지역으로 판단하였다. 현재평년(1971-2000)에 대하여 일 최저기온 1월 평균값과 1월 최저기온 분포도로 연차변이 및 10년 재현확률의 1월 최저기온을 계산하고 후지의

동해유발온도 이하의 온도가 발생하는 지역을 동해위험지역으로 출력하였다. 이러한 동•상해위험 조건에 포함되지 않는 지역을 재배안전지대로 판정하였다. 마지막으로 과일 품질정보에 근거한 3단계 선별과정을 거쳤는데 먼저 anthocyanin 함량과 hunter A 값, L/D 비 기준에서 후지 고품질 재배조건에 해당하는 지역을 각각 제작하였다. 다음에는 이들을 중첩시켜 3가지 조건을 모두 만족하는 지역을 추출하는 방식으로 현재평년에 대하여 고품질 가능지역을 탐색하였다. 종합적으로 표현한 것이 그림 43이며, 각 단계별 주요결과는 다음과 같다.

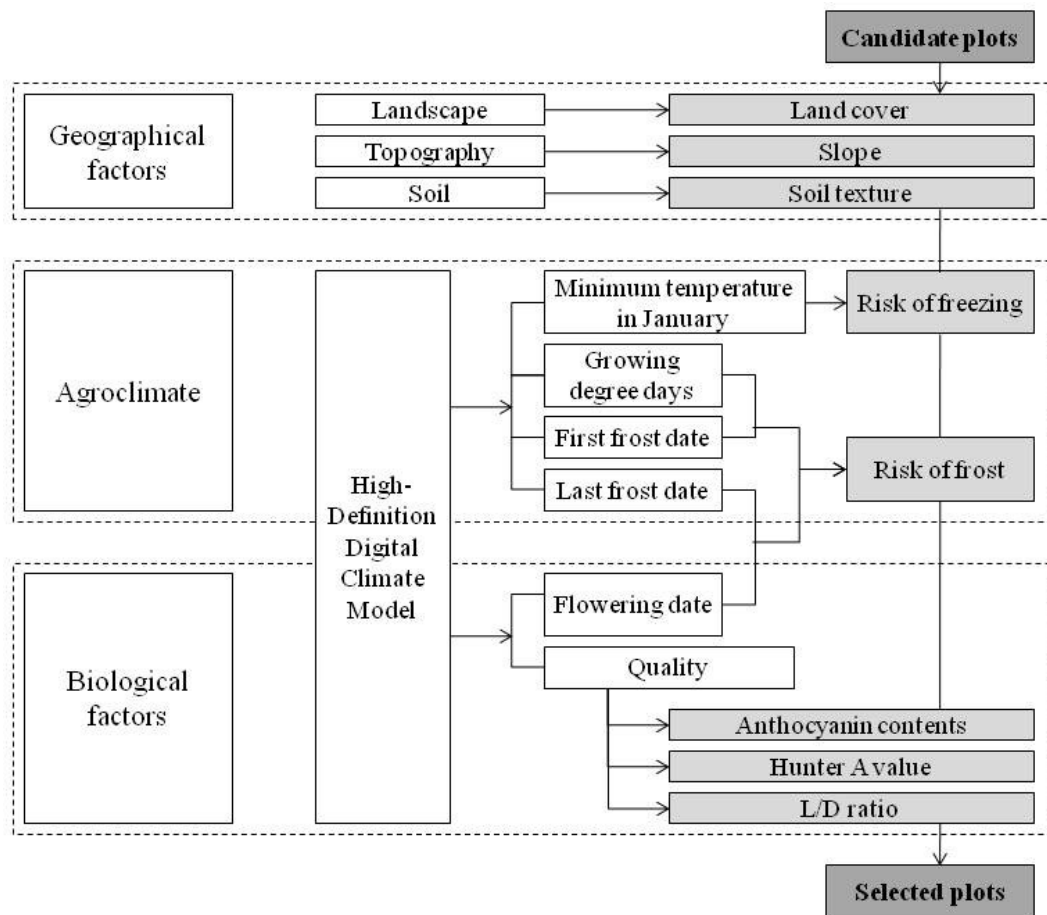


그림 43. 전자기후도와 지형정보 레이어를 이용한 후지사과의 재배적지 탐색과정

우리나라에서 토지의 불변속성 즉 경관, 지형, 토양 측면에서 과수원 개원에 적합한 지역은 30m 해상도로 분석했을 때 국토의 27% 정도이다. 경기도 남•북부 및 충청북도 북부, 경상북도의 예천, 의성, 상주, 영천 주변 및 경상남도 창녕, 함안 주변과 특히 충청남도과 전라도의 서해안에 가까운 지역에 적지가 많이 분포하고 강릉,

고성의 동해안 부분도 다소 포함된다.

남한 전역에 사과 ‘후지’가 식재되었다고 가정할 때 북쪽 지역 및 산악 지역과 같이 기온이 낮은 지역에서는 만개시기가 더 늦게 나타난다. 현재평년 기후조건에서는 4월 말에서 5월 중순까지 대부분의 지역에서 만개가 된다. 4월에 만개하는 지역이 전국의 31%, 5월에 만개하는 지역은 68%이다. 고도가 높은 지대를 제외한 내륙 일부 지역이 후지의 만상해가 발생할 수 있다. 기온이 높은 해안 지대 및 대도시 주변은 만개기가 빨라진 만큼 종상일 역시 일찍 나타나기 때문에 서리피해를 피할 수 있으며, 고지대의 경우는 만개기가 늦기 때문에 상해안전지대로 나타났다.

한 해 동안 생육가능기간의 부족으로 적산온도가 채워지지 않거나 지연되어 미숙과 상태에서 첫서리를 맞아 수확에 실패하게 될 예상지역은 주로 강원도와 같은 산간지대에 해당하며, 현재평년기후에서 우리나라 전체 면적의 4% 가량이 해당된다.

10년에 한번 발생할 수 있는 최저기온만으로 판정한 월동기간 중 동해위험지역은 북부 내륙의 일부 지역에 해당할 것으로 보이며, 현재평년기후에서 전국의 약 0.5%에 불과할 것으로 추정되었다. 현재평년기후에서 후지의 고품질 재배 조건에 해당하는 지역은 남부 및 해안을 제외한 전국의 약 60% 면적에서 나타났으며, 우리나라의 지형, 토지, 기후 및 품질 조건을 종합적으로 보았을 때 현재평년의 경우 국토의 6.5% 정도가 사과재배적지인 것으로 추정되었다(그림 44, 우).

고해상도의 전자기후도를 이용하면 좁은 지역에 대해서도 정밀하게 재배적지를 판정할 수 있기 때문에 지방의 농민이나 농촌지도기관에서 재배지 결정을 하는 데 실용적으로 쓰일 수 있다. 우리나라에서 사과를 가장 많이 재배하는 영주시의 경우 현재평년기후에서 상해위험지역을 제외한 경사도 15% 이하 임야 및 농경지의 대부분이 고품질 후지사과의 재배적지로 나타났다(그림 44, 좌).

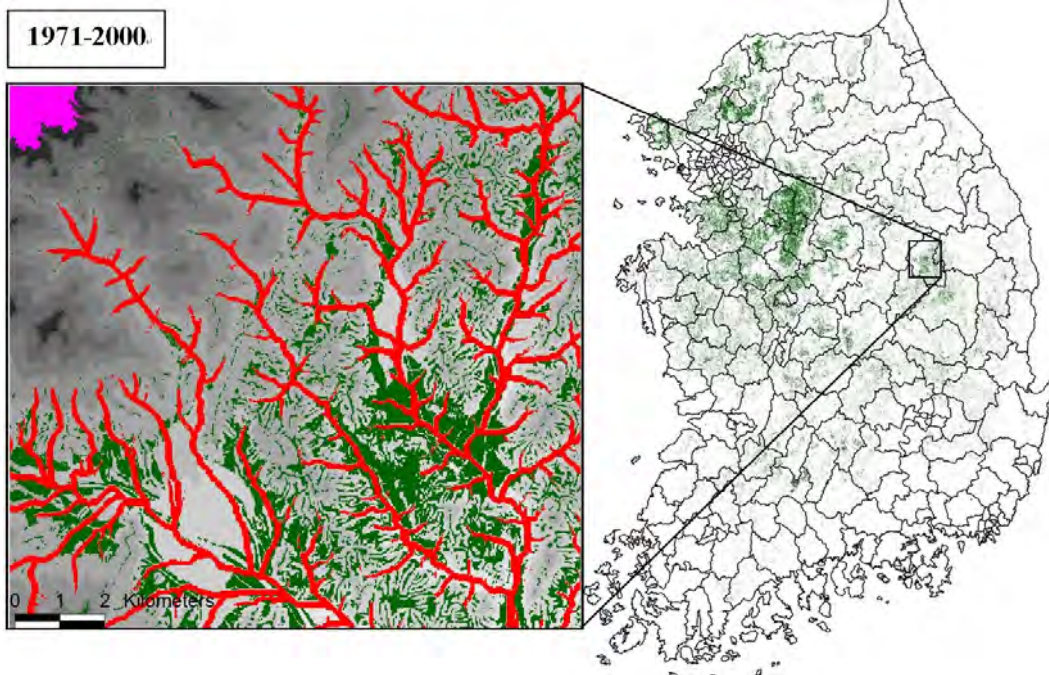


그림 44. 평년(1971-2000)기후에서 영주지역(좌)과 전국(우)에 대한 후지사과의 재배 적지 분포

제 5 절 실무자 교육훈련

본 연구과제의 최종성과물은 고해상도 디지털 농업기후도로서 기후학과 공간정보 기술 분야에 어느 정도 지식을 가진 사람만이 활용할 수 있다. 그러나 국내 여건상 농촌지도사 등 현장근무자는 물론 농업연구에 종사하는 사람들도 이런 분야의 체계적인 교육을 받거나 훈련과정에 참가할 기회가 매우 희소하다. 아무리 좋은 성과물이 산출되더라도 그것을 현장에서 활용할 수 있는 사람이 없다면 소용이 없을 것이다. 따라서 본 과제에서는 잠재적인 사용자계층으로서 농촌지도직 공무원과 농업연구직 공무원, 그리고 대학원에서 농업기상을 전공하는 신진연구자들로 설정하고 연구시작단계에서부터 이들에게 체계적이고 지속적인 교육을 실시하였다. 교육의 형태는 연찬회(workshop)와 공개강좌(open lecture)를 취했고 단계별 교육에 필요한 훈련교재를 편찬하였다. 연구종료 후에는 (재)국가농림기상센터에서 교육프로그램을 이관 받아 정규업무로 실시하기로 했으며, 나아가 세계기상기구 아시아지역 농업기상훈련센터(중국 난징기술대학)와 공조하여 개도국 기술자 대상 국제프로그램으로 발전시키기로 하였다.

1. 초급과정 연찬회 개최

가. 농촌진흥청 농업기상전문지도연구회 회원(20명)을 대상으로 전자기후도 초급과정 연찬회를 2박 3일간(2006년 6월 27일-29일) 경희대학교 수원캠퍼스에서 개최하였다. 주요 교육내용은 기상관측 이론, 계측장비 실습, 공간정보 기초, 자료 통계처리 등이다.



그림 45. 2006년 6월 27일-29일 전자기후도 연찬회 단체사진

연번	소속	성명	휴대폰	전자우편
1	철원군농업기술센터	이희종		
2	예산군농업기술센터	김진섭		
3	보령시농업기술센터	이학운		
4	부여군농업기술센터	정종관		
5	부여군농업기술센터	김달현		
6	전북도농업기술원	최동규		
7	전남도농업기술원	김용수		
8	칠곡군농업기술센터	김제윤		
9	합천군농업기술센터	하순기		
10	진주시농업기술센터	이천식		
11	신안군농업기술센터	강을원		
12	구례군농업기술센터	고근배		
13	농업과학기술원 토양관리과	김이현		
14	농업과학기술원 환경생태과	손연경		
15	서울대학교 농생대	이준호		
16	단국대학교 생명자원대	황성훈		
17	연세대학교 대기과학과	박성빈		
18	연세대학교 대기과학과	김정심		
19	서울대학교 농생대	김중호		
20	서울대학교 농생대	이승민		

나. 제주지역 농업기상업무 관련 연구원(16명)을 대상으로 전자기후도 초급과정 연찬회를 2박 3일간(2006년 11월 27일-29일) 난지농업연구소 감귤연구센터에서 개최



그림 46. 2006년 11월 27일-29일 전자기후도 연찬회 단체사진

연번	소속	성명	휴대폰	전자우편
1	난지농업연구소	난지환경과 전승종	064-741-2580	
2	난지농업연구소	난지환경과 문경환	064-741-2581	
3	난지농업연구소	난지환경과 좌재호	064-741-2592	
4	난지농업연구소	난지환경과 한승갑	064-730-4172	
5	난지농업연구소	난지환경과 현재욱	064-730-4173	
6	난지농업연구소	난지환경과 최경산	064-741-2582	
7	난지농업연구소	감귤과 고상욱	064-730-4108	
8	난지농업연구소	감귤과 최영훈	064-730-4107	
9	난지농업연구소	감귤과 김용호	064-730-4106	
10	난지농업연구소	감귤과 박재호	064-730-4141	
11	난지농업연구소	감귤과 이평호	064-730-4174	
12	난지농업연구소	감귤과 이지현	064-730-4153	
13	난지농업연구소	원예작물과 이진수	064-741-2574	
14	난지농업연구소	감귤과 김천환	064-741-2577	
15	난지농업연구소	축산과 조용일	064-754-5740	
16	난지농업연구소	축산과 고석찬	064-754-5780	

다. 농촌진흥청 농업기상전문지도연구회 회원(20명)을 대상으로 전자기후도 초급과정 연찬회를 2박 3일간(2007년 12월 4일-6일) 경희대학교 수원캠퍼스에서 개최하였다.

연번	소속	성명	휴대폰	전자우편
1	전남 신안군농업기술센터	강을원	061-240-8851	
2	경북 칠곡군농업기술센터	김제윤		
3	전남도농업기술원	김용수	061-330-2759	
4	경남 진주시농업기술센터	이천식	055-749-5686	
5	전북도농업기술원	최동규	063-839-0408	
6	경기 가평군농업기술센터	황범석		
7	충북 음성군농업기술센터	남정호		
8	충남 예산군농업기술센터	윤동욱	041-333-0663	
9	경기도농업기술원	조영철	031-834-0406	
10	충북 충주시농업기술센터	홍재성	043-850-6655	
11	경북 봉화군농업기술센터	황경수		
12	전남 구례군농업기술센터	고근배		
13	경남 합천군농업기술센터	하순기	055-930-3661	
14	경기 화성군농업기술센터	최재연		
15	농업과학기술원 토양관리과	허승오	031-290-0215	
16	농업과학기술원 환경생태과	김민경		
17	서울대학교 농생대	최덕환		
18	경희대학교 생명과학부	김수옥		
19	경희대학교 생명과학부	김도훈		
20	경희대학교 생명과학부	박장진		

2. 중급과정 연찬회 개최

가. 농촌진흥청 농업기상전문지도연구회 회원(10명) 및 난지농업연구소 농업기상업무 관련 연구원(5명)을 대상으로 전자기후도 중급과정 연찬회를 2박 3일간(2007년 6월 27일-29일) 서울대학교 농생대 전산실에서 개최하였다.



그림 47. 2007년 6월 27일-29일 전자기후도 연찬회 단체사진

연번	소속	성명	휴대폰	전자우편
1	충남 보령시농업기술센터	이학운		
2	강원 횡성군농업기술센터	신상훈		
3	전남 담양시농업기술센터	류한규		
4	경기 가평군농업기술센터	황범석		
5	경기 양평군농업기술센터	김재석		
6	강원 철원군농업기술센터	이희종		
7	충남 예산군농업기술센터	김진섭		
8	충남 부여군농업기술센터	정종관		
9	충남 부여군농업기술센터	김달현		
10	전남 광양군농업기술센터	문승우		
11	난지농업연구소 감귤시험장	이평호		
12	난지농업연구소 감귤시험장	김천환		
13	난지농업연구소 원예과	이진수		
14	난지농업연구소 난지환경과	문경환		
15	난지농업연구소 난지환경과	한승갑		
16	농업과학기술원	류희용		

나. 농촌진흥청 농업기상전문지도연구회 회원(20명)을 대상으로 중급과정 훈련교재를 사용하여 전자기후도 중급보수과정 연찬회를 2박 3일간(2008년 8월 5일-7일) 경희대학교 수원캠퍼스에서 개최하였다.

연번	소속	이름	휴대폰	전자우편
1	경기도 농업기술원	홍순성		
2	경기도 농업기술원	박건환		
3	작물과학원	김준환		
4	경기 가평군농업기술센터	황범석		
5	강원 횡성군농업기술센터	신상훈		
6	충남 부여군농업기술센터	이학운		
7	충남 부여군농업기술센터	정종관		
8	충남 부여군농업기술센터	김달현		
9	충남 예산군농업기술센터	김진섭		
10	전남 담양군농업기술센터	류한규		
11	제주 난지농업연구소	문경환		
12	제주 난지농업연구소	이평호		
13	제주 난지농업연구소	권영순		
14	농업과학기술원	심교문		
15	고령지농업연구소	류종수		
16	충남 예산군농업기술센터	최미영		
17	농업과학기술원	홍석영	031-290-0128	
18	농업과학기술원	이예진	031-290-0276	
19	전남 영암군농업기술센터	김준열		
20	서울대 농업생명과학대학	이진언		

다. 사업종료를 앞두고 다양한 분야에서 일하는 20명을 대상으로 2010년 1월 7일-8일 경희대학교 생명과학대학 전산실에서 초급 및 중급 통합과정을 진행하였다. 주요 내용은 GIS 및 공간데이터 기초 이론, 타 기관의 다양한 공간데이터를 이용한 기초 실습, 일 최고 및 최저기온 전자기후도 활용 사례 및 기초 실습 등이다.

	소속	이름	휴대폰	전자우편
1	계명대학교 낙동강환경원	박명희		
2	경희대학교	김대준		
3	국립원예특작과학원 감귤시험장	문영일		
4	경기도농업기술원 작물개발과	임갑준		
5	국립축산과학원	정민웅		
6	경기도농업기술원 원예산업연구과	박건환		
7	국립농업과학원 기후변화생태과	방혜선		
8	전북대학교 원예학과	서찬석		
9	전북대학교 원예학과	최영민		
10	서울대학교농생대식생부대학 원생	서범석		
11	원예특작과학원 감귤시험장	이평호		
12	국가농림기상센터	윤보라		
13	국립원예특작과학원	권영순		
14	강원대학교	정영상		
15	서울대학교	문강현		
16	전북대학교 원예학과	권중현		
17	인제대학교 대기환경정보공학과	김은별		
18	에피넷	신용순		
19	에피넷	안문일		
20	에피넷	박종선		



그림 48. 2010년 1월 7일-8일 전자기후도 연찬회

3. 고급과정(개발자과정) 연찬회 개최

가. 농업연구기관 GIS 업무 담당직원 및 대학생을 대상으로 고급과정 훈련교재를 사용하여 전자기후도 응용프로그램 개발자과정 연찬회를 2박 3일간(2009년 2월 10일-12일) 경희대학교 수원캠퍼스 전산실에서 개최하였다. 외부강사(선도소프트 명광현)를 초빙하여 ArcGIS 9.2 구성 및 VBA, .NET(4시간), ArcObject의 구조와 개발자 리소스 기초(2시간), VBA 기반 ArcObject 분석개발 툴 작성(10시간) 등에 관해 교육하였다.

연번	이름	소속	휴대폰	전자우편
1	김준환	작물과학원		
2	신용순	(주)에피넷		
3	이평호	난지농업연구소		
4	권영순	난지농업연구소		
5	심교문	농업과학기술원		
6	류종수	고령지농업연구소		
7	최미영	예산군농업기술센터		
8	이재현	경희대학교 생명과학대학		
9	김수옥	경희대학교 생명과학대학		
10	김진희	경희대학교 생명과학대학		
11	김대준	경희대학교 생명과학대학		
12	서희철	경희대학교 생명과학대학		
13	최미희	경희대학교 생명과학대학		
14	최덕환	서울대학교 농업생명과학대학		
15	이진연	서울대학교 농업생명과학대학		

나. 2009년 9월 26-27일 경희대학교 국제캠퍼스 생명과학대학 전산실에서 참석인원 16명(연구기관: 3명, 대학: 12명, 기업체: 1명)을 대상으로 전문강사 정형태를 초빙하여 공간정보 처리용 스크립트 Python 소개(1시간), 자료형 및 연산자, 함수, 제어문(3시간), 클래스 및 모듈, 예외처리 등 디버그(2시간), 입출력 및 중요모듈 작성(3시간), Numpy 및 SciPy import, 연습(3시간) 등 개발자과정 연찬회를 개최하였다.



그림 49. 2009년 9월 26일-27일 전자기후도 연찬회 단체사진

No	이름	소 속	전자우편	휴대전화
1	서희철	경희대학교 생태시스템공학		
2	김대준	경희대학교 농업기상실		
3	김진희	경희대학교 생태시스템공학		
4	김수욱	경희대학교 생태시스템공학		
5	최미희	경희대학교 생태시스템공학		
6	권영순	온난화대응농업연구센터		
7	김세진	서울대학교 농생명공학부		
8	정종국	서울대학교 농생명공학부		
9	김문성	성균관대학교 조경학과		
10	박종길	대기환경정보연구센터		
11	안문일	서울대학교 농생명공학부		
12	신용순	(주)에피넷		
13	박명희	계명대학교 낙동강환경원		
14	송유한	경상대학교		
15	장우석	공주대학교		
16	문경환	온난화대응농업연구센터		

4. 전자기후도 공개강좌 개최

가. 제 5 회 세계작물학대회(2008년 4월 15일-18일, 제주국제회의장)에 전시부스를 임차하여 그동안 제작된 전자기후도 및 파생산물을 전시하고 국내외 참관인을 대상으로 관련기술과 전자기후도 활용에 대한 공개강좌를 실시하였다.



그림 50. 2008년 4월 15일-18일 전자기후도 공개강좌 (1)

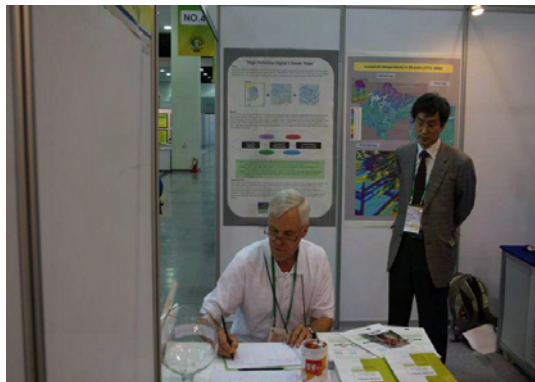
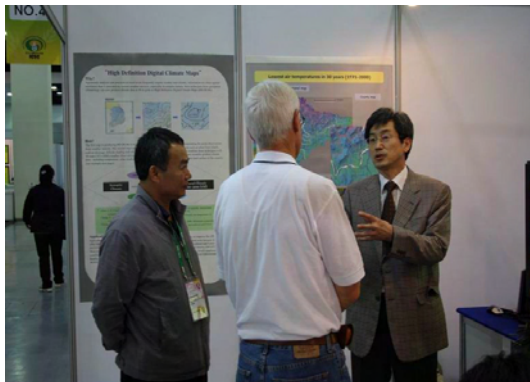
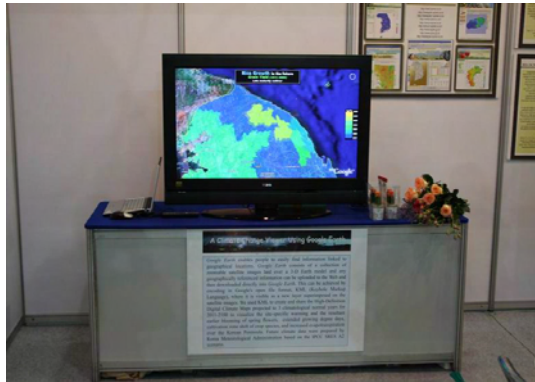
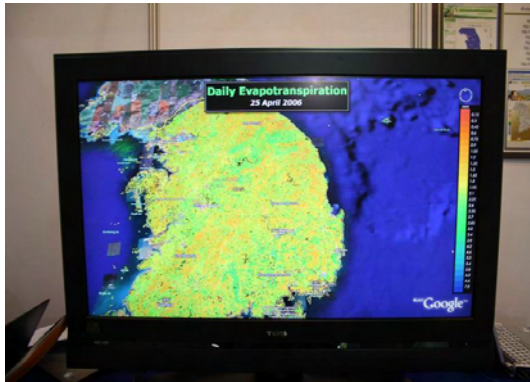
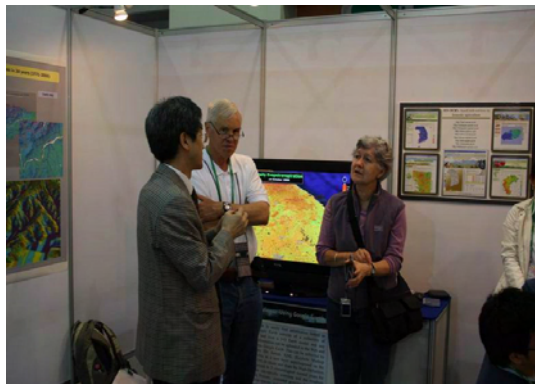
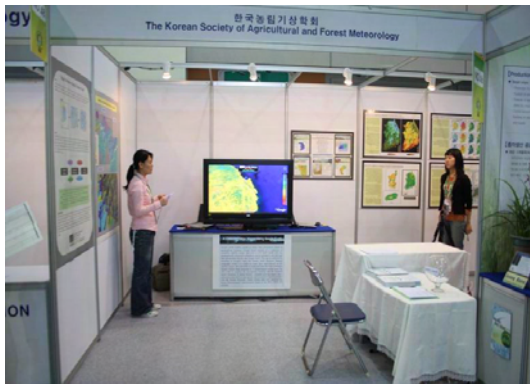


그림 51. 2008년 4월 15일-18일 전자기후도 공개강좌 (2)



그림 52. 2008년 4월 15일-18일 전자기후도 공개강좌 (3)

나. 지금까지 제작된 기본기후도, 2차기후도, 분석기후도에 대한 사용자 설명회 및 농업기상예보시스템 시연회를 2009년 4월 21일-22일 서울 양재동 교육문화회관에서 개최하고 같은 기간 중 시군농업기술센터 담당자를 대상으로 하는 제 8 회 전자기후도 제작 및 활용 연찬회 공개강좌를 가졌다.

No.	성명	소속기관	연락처	전자우편
1	여현수	경기도농업기술원		
2	김희선	경기개발연구원		
3	김아현	경기개발연구원		
4	오창영	국립산림과학원		
5	김경대	강원도농업기술원		
6	윤덕명	원예연구소		
7	김명현	국립농업과학원		
8	남은영	국립원예특작과학원		
9	임영미	수원기상대		
10	김준환	국립식량과학원		
11	방혜선	국립농업과학원		
12	정명표	국립농업과학원		
13	박소희	국립원예특작과학원		
14	박지혜	수원기상대		
15	이길재	국립농업과학원		
16	류희용	국립농업과학원		
17	문경환	온난화대응농업연구센터		
18	권영순	온난화대응농업연구센터		
19	정현철	국립농업과학원		
20	이충근	국립식량과학원		



그림 53. 2009년 4월 21일-22일 전자기후도 공개강좌

다. 농진청, 기상청, 산림청 3청의 MOU에 의해 설립된 (재)국가농림기상센터 개소식에서 전자기후도를 공개하고 참가자에게 설명회를 가졌다(2009년 11월 12일).



그림 54. 2009년 11월 12일 전자기후도 공개강좌

라. 사업종료 기념 공개강좌를 2010년 4월 23일 서울대학교 농생대에서 개최하였다.

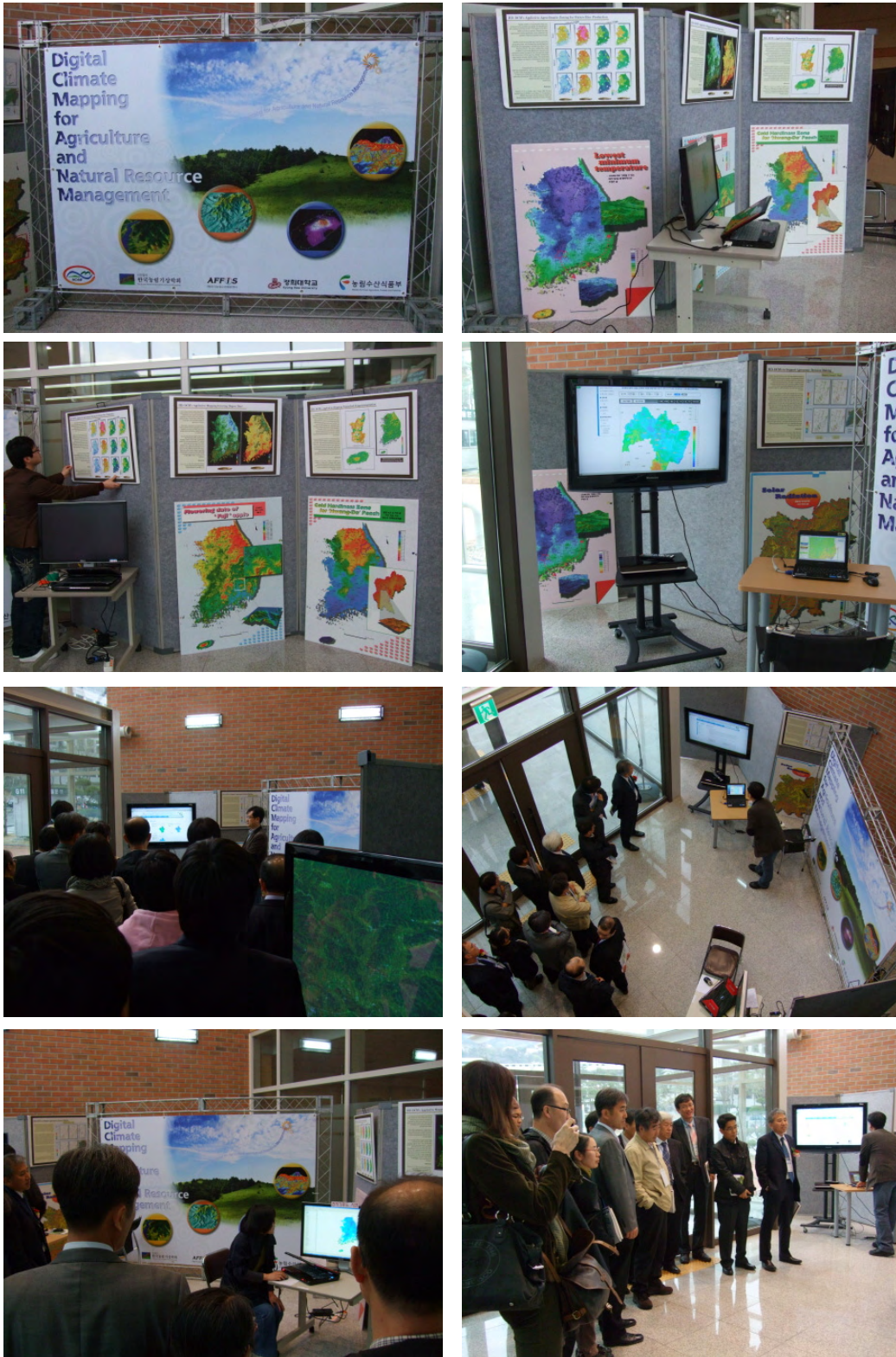


그림 55. 2009년 2010년 4월 23일 전자기후도 공개강좌

5. 훈련교재 발간

초급, 중급, 고급 훈련과정에 사용한 강의 및 실습자료를 묶어서 책자로 발간하였다. 주요 내용(목차)은 다음과 같다.

가. 초급과정

1부 기본 전자기후도의 이론적 근거

1장 숲과 농경지의 기후 -----	1
2장 소기후모형 -----	7
2.1 연구현황 -----	7
2.2 일 최저기온 내삽모형 -----	8
2.2.1 냉기유입량의 계산	
2.2.2 모형의 정립	
2.2.3 모형의 검증	
2.3 일 최고기온 내삽모형 -----	16
2.3.1 BioSIM	
2.3.2 과열지수의 계산	
2.4 낮시간대 매시기온 내삽 -----	19
2.4.1 모형해설	
2.5 도시열섬효과의 보정 -----	25
3장 소기후정보의 활용 -----	33

2부 기본 전자기후도 제작 실습

4장 실세계와 공간정보 -----	36
4.1 공간정보 -----	36
4.2 공간자료 -----	37
4.2.1 위치자료	

4.2.2 속성자료	
4.3 GIS의 기능상 특징	39
5장 지도와 투영	40
5.1 공간모형	40
5.2 좌표계(Coordinate System)	41
5.3 투영(Projection)	42
5.4 지리적 위치의 기준(Geographic Reference)	43
5.5 측지의 실제	44
5.5.1 지구좌표계	
5.5.2 지역좌표계	
6장 ArcView 인터페이스 소개	47
6.1 ArcView 3.1 프로그램 시작하기	47
6.2 ArcView 인터페이스	48
6.3 다큐먼트의 메뉴, 아이콘과 툴 살펴보기	49
6.4 프로젝트 저장과 작업공간 설정하기	53
6.5 주제도 다루기	55
7장 ArcView 다큐먼트	59
7.1 point, polyline, ploygon 범례편집	59
7.1.1 point 주제도 범례편집	
7.1.2 polyline 주제도 범례편집	
7.1.3 polygon 주제도 범례편집	
7.2 속성표 다루기	64
7.2.1 search: 검색	
7.2.2 shape merge	
7.2.3 table join	
8장 공간자료와 중첩	72

8.1 토지이용도와 DEM 중첩 -----	72
8.2 토지이용도, 토양도, DEM 중첩: 경사향, 경사도 분석 -----	75
8.3 전자기후도와 중첩: 재배적지 판정 -----	80
9장 공간자료의 생성 -----	84
9.1 ArcPAD와 GPS 이용: point -----	84
10장 공간자료의 속성편집 -----	86
10.1 point theme의 기온 및 상대습도 자료수집 -----	86
10.2 불쾌지수 계산 -----	87
11장 전자기후도 제작(초급) -----	91
11.1 매시 일사수광량으로부터 일 적산일사량 계산하기 -----	91
11.1.1 Extension: OHI.avx 탑재	
11.1.2 지형변수:Slope1, Aspect1, SVF1 계산	
11.1.3 일사수광비율 계산	
11.1.4 일 적산일사량 계산	
11.2 일 최고기온 계산하기 -----	105
11.2.1 과열지수 계산	
11.2.2 고도편차 계산	
11.2.3 일 최고기온 계산	
11.3 일 최저기온 계산하기 -----	119
11.3.1 Extension: 수문모형 avx 탑재	
11.3.2 냉기유입량과 E2 계산	
11.3.3 온난대와 E1 계산	
11.3.4 일 최저기온 계산	
12장 레이아웃 다큐먼트 -----	132
12.1 뷰 다큐먼트 설정 -----	132
12.2 레이아웃 다큐먼트 설정 -----	134

12.2.1 View frame	
12.2.2 Legend	
12.2.3 Scale bar	
12.2.4 North arrow	
12.2.5 그래픽 요소: text, 도곽선 등	
13장 출력하기 -----	139
13.1 이미지 파일의 종류와 특징 -----	139
13.2 이미지 내보내기 -----	140

나. 중급과정

1장: 초급과정 복습 -----	1
1.1 ArcView Interface -----	1
1.1.1 ArcView3.3 시작하기	
1.1.2 Working Directory 설정 및 Project 저장하기	
1.2 공간정보(Shape 및 Grid) -----	2
1.2.1 Shape 파일 다루기	
1.2.2 Grid 파일 다루기	
2장: 타 기관 공간자료 활용 -----	7
2.1 산림청(임상도) -----	7
2.1.1 임상도(shape) 파일 열기	
2.1.2 행정구역내에 포함된 임상도 속성만 추출하기	
2.1.3 Geoprocessing wizard를 이용하여 속성 정리하기	
2.1.4 임상도 레전드 변경하기	
2.2 농업과학기술원(토양도) -----	12
2.2.1 토양도(shape) 파일 열기	
2.2.2 shape 파일을 grid 파일로 전환하기	

2.2.3 토양도 레전드 변경하기	
2.3 환경부(토지이용도) -----	16
2.3.1 토지이용도 파일 받기	
2.3.2 ArcInfo 교환 포맷을 ArcView3.3 파일로 변환하기	
2.3.3 토지이용도 레전드 변경하기	
2.4 국립지리원(수치지형도) -----	20
2.4.1 수치지형도(dx)로부터 shape 파일 만들기	
2.4.2 공간자료 재구성(Geoprocessing)하기	
2.4.3 등고선 shape 파일로부터 DEM 만들기	
2.5 여러 기관 자료의 중첩분석하기 -----	38
2.5.1 홍수피해 예상지 검색하기	
2.5.1 홍수피해 예상지 Layout 작성하기	
3장: 기후도 활용 -----	42
3.1 평년 월별 기온기후도 활용 -----	42
3.1.1 Thornthwaite 증발산 분포도 작성하기	
3.1.2 재현확률에 의한 극최저기온 분포도 작성하기	
3.1.3 생장도일 분포도 작성하기	
3.2 평년 일별 기온기후도 활용 -----	53
3.2.1 일별 기온자료 생성하기	
3.2.2 사과(후지) 만개일 추정하기	
3.2.3 종상일 계산하기	
3.2.4 사과(후지) 만개일과 종상일로부터 상해위험도 추정하기	
3.2.5 생물계절모형을 이용한 과수 월동기간 중 동해위험도 계산하기	
3.2.6 생물계절에 근거한 과수 늦서리피해 위험도 계산하기	
부록 1. Data CD 내용 -----	73
CD 1: 각 시군 공간자료 및 기온기후도	
CD 2: 프로그램	

제 4 장 농업기상예보시스템 개발

제 1 절 실황기후도 제작 및 웹 표출기술 개발

1. 실황기후도 제작 기술

기상청으로부터 농진청 농업기상정보시스템으로 전송되어 수집된 실시간 자동기상관측자료를 ftp로 수집하고 각 지점별 관측자료를 데이터베이스화 한 뒤 공간 내삽을 통하여 격자 형태의 기상자료를 추정하였다. 공간내삽방법은 거리제곱역산가중법 IDSW과 고도에 따른 기온감율을 고려한 기상자료 추정 모형에 근거하였고, 추정할 지점은 실제 관측이 이루어지고 있는 인접한 기상관측지점(3-4개)들의 관측값들을 이용하여 추정하였다. 기상자료 자동보간 소프트웨어 [WDIS(Weather Data Interpolation Server)]를 이용하여 보간된 실황기상 데이터를 웹에서 표출할 수 있는 이미지 변환 기술은 상용으로 쓰이고 있는 웹 이미지 생성용 소프트웨어인 ESRI사의 ArcIMS를 사용하지 않고 공개된 MapServer 프로그램 소스 및 자체 기술을 통해 웹에서 표현 가능한 image format 변환 Java program 모듈로 개발하였다.

- ArcMap에서 ArcObject로 구현된 일 최고 및 최저기온 계산 방법으로 실황 기상자료를 생산하는 체계

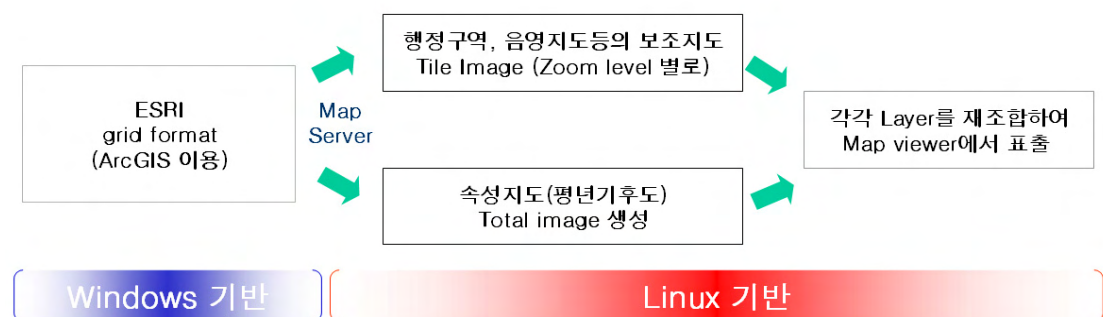


그림 56. 실황기후도 추출방법 (1)

- Java 프로그램으로 구현된 기상자료자동보간 모듈에 의하여 실황 기상자료를 생

산하는 체계



그림 57. 실황기후도 추출방법 (2)

2. 실황기후도 표출기술 개발

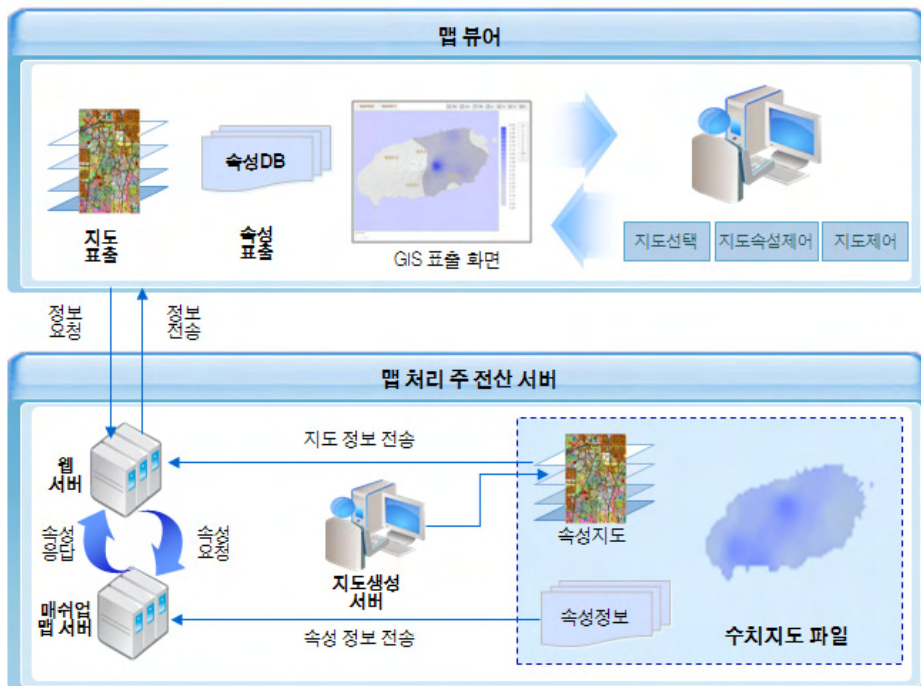


그림 58. 웹 맵 표출 흐름도

기후도 웹 표출 모듈은 수치지도로부터 이미지를 생성하여 웹상으로 표출하는 역할을 수행하며, 기후도 웹 표출은 맵처리 주전산 서버(Web MapServer)와 맵 뷰어(웹 맵 프런트 엔드, Web MapServer Front-end)로 구성되었다. 주전산 서버는 파일 형태의

수치지도를 웹 상으로 표현 가능한 이미지로 변환하여 생성한 다음, 웹 맵 뷰어를 통해 맵 서버에서 생성된 이미지를 브라우저를 통해 사용자에게 보여주는 역할을 수행한다. 맵뷰어의 기능으로는 시공간에 따른 GIS 데이터의 선택이 가능하고, 지도의 축소, 확대, 이동이 웹 상으로 가능하며, 특정 격자점(Mesh point)의 속성정보를 표현한다. 고해상도의 이미지의 웹 표출 응답시간을 향상시키기 위해 추출 가공된 지도 이미지는 단계별로 처리하도록 구현되었다.

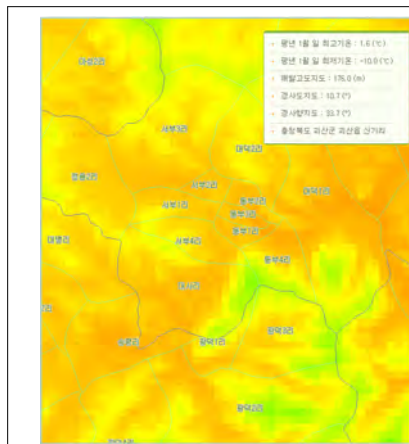


그림 59. 웹 맵 뷰어의 표현 예제(충북지역)

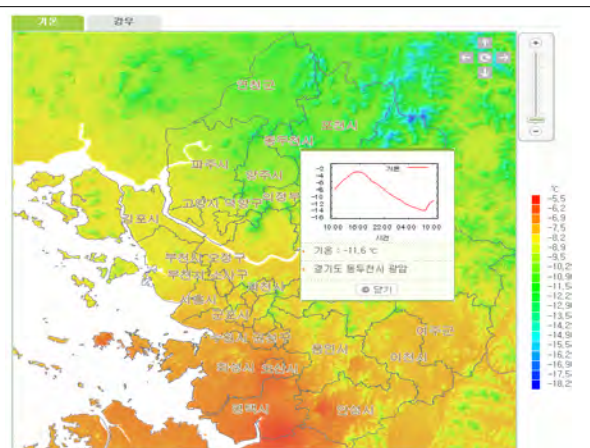


그림 60. 격자속성 및 범례 표출

제 2 절 전자기후도 제공 시스템 구축

1. 전자기후도 이미지 추출

전자기후도 원본 파일은 ESRI사의 Grid Format 파일형식으로 되어 있어 웹에서 서비스하기 위해서는 웹용 이미지를 추출하고 GIS기반의 Map 뷰어로 서비스 하여야 한다. 웹에서 서비스를 하기 위하여 상용 소프트웨어인 ESRI사의 ArcIMS를 사용하지 않고 오픈소스 라이브러리인 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)을 이용하여 READ_RASTER 프로그램을 C++로 개발, 전자기후도의 기본 속성정보(지도의 크기, 격자의 크기, 위경도 시작점, 속성의 최대값, 최소값 등)를 추출하였고 오픈소스인 MapServer 프로그램을 활용하여 웹에서 표출되는 지도 이미지와 속성정보 이미지들을 추출하였다. 일차기후도, 이차기후도, 분석기후도에 대한 추출된 속성 이미지는 행정구역정보 등 지리정보와 중첩되어 표출되며 속성 이미지의 각 격자별 속성값을 조회할 수 있도록 오픈소스인 MapServer와 연동되어 구동되도록 설계되었다.

2. 전자기후도 소개

웹을 통한 전자기후도를 제공하기 위하여 일차기후도, 이차기후도, 분석기후도 분류에 대한 기후도 목록과 각각의 기후도에 대한 간략한 설명을 제공하도록 소개 페이지를 구성하였다. 지도 보기 버튼을 클릭하면 해당 기후도에 대한 맵 뷰어 실행되어 사용자에게 제공된다.



DCM (Digital Climate Model) 이란?

- 농작물, 초지, 수목의 생육에 직접 영향을 미치는 기후는 종관기후가 아니라 미기후(micro climate), 국지기후(local climate) 등으로 불리는 규모가 작은 '소기후'인데, 일반적인 기후도는 국토 전체가 기상관서의 표준 관측노장처럼 잔디밭으로 덮여있다고 가정하여, 각 기상관서의 관측값을 서로 연결하여 한눈에 알 수 있도록 그린 소위 종관기후도이다.
주어진 종관기후(평균)로부터 특정지점의 소기후(변이)를 추정하기 위한 수치-경험적 해법을 소기후모형이라 하는데, 종관기후도를 고해상도의 공간정보와 소기후모형에 의해 수정, 보완함으로써 정확도를 경관규모(landscape scale)로 개선한 디지털기후도(gridDED digital climate reanalysis data)를 전자기후도라 부른다.
전자기후도는 기온, 일사량, 강수량 등을 좌표값이 내장된 규칙적인 격자점 속성으로 표현하므로 다른 공간 정보와 중첩분석이 가능한 특징이 있다.
- 전자기후도는 제작 단계에 따라 기본기후도와 이차기후도, 분석기후도 등 3 종류로 나누어지며 기본기후도(primary products) 단계에서는 일 최고기온, 일 최저기온, 일사량, 강수량 등이 제작된다.

이차기후도(secondary products) 단계에서는 기본기후도를 토대로 다음과 같은 "농업기후지수"가 제작된다.

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| ■ 일교차(일 최고 - 최저기온) | ■ 극 최저기온(재현기간 10년, 30년) |
| ■ 종상일과 초상일 | ■ 생장유효적산온도(GDD) |
| ■ 생장개시일과 생장종료일 | ■ 수확적기(생리적 성숙기) |
| ■ 기간별 적산강수량 | ■ 기간별 적산일사량 |

분석기후도(analytical products) 단계에서는 기본기후도와 이차기후도를 이용하여 작물 혹은 품종별로 다음 정보를 산출한다.


- | | |
|-----------|---------|
| ■ 내생휴면해제일 | ■ 휴면심도 |
| ■ 강제휴면해제일 | ■ 단기내동성 |
| ■ 발아일 | ■ 개화일 |
| ■ 동해위험도 | |



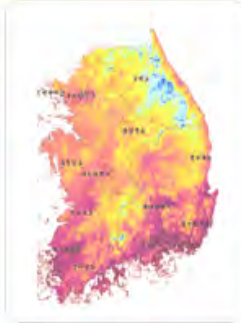
참고문헌

- 윤진일, 2004: 공간기후모형을 이용한 농업기상정보 생산. 한국농림기상학회지 6(4), 272-289.
- 윤진일, 2007: 한국농업의 구조조정과 전자기후도의 역할. 한국농림기상학회지 9(1), 1-16.


그림 61. 전자기후도 소개

 **성장유효적산온도(기준온도 = 0°C)**

일 최고 및 최저기온에 의해 계산되며 작물별 성장개시온도 이상에서의 누적온도, 즉 생육에 유효한 온도의 1년간 적산값




지도 보기

 **낙엽수목의 휴면심도**

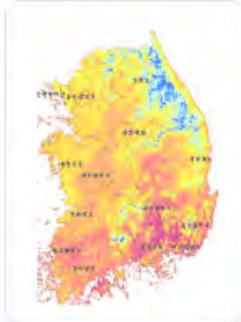
일 최고 및 최저기온으로 구동되는 생물계절추정 모형에 의해 매일 계산되며, 낙엽 이후 적산값은 온대낙엽수목의 휴면상태를 나타내는 지표로 사용




지도 보기

 **Campbell Early 발아(출엽일)**

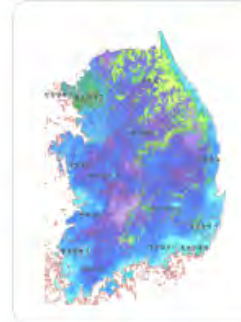
강제휴면해제일 이후 누적 성장유효온도가 식물별로 정해진 수준에 도달하여 꽃눈 혹은 잎눈이 터지는 날




지도 보기

 **Campbell Early 내생휴면해제일**

계산된 휴면심도가 수목별로 정해진 저온 요구량(휴면해제에 필요한 최소량)에 도달한 날짜로서 대개 강제휴면개시일과 일치




지도 보기

 **Campbell Early 단기내동성 지속기간**

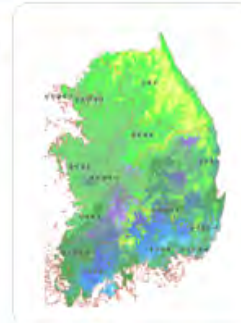
휴면심도가 최대값에 도달하여 내생휴면이 해제된 날부터 강제휴면이 해제되기 직전까지 기간



지도 보기

 **Campbell Early 강제휴면해제일**

일 평균기온이 기준온도 이상으로 상승하여 이제 더 이상 기온조건이 발아나 출엽에 장애가 되지 않게 되는 첫째 날.



지도 보기

그림 62. 기후도별 설명 및 지도 링크

3. 기본기후도

전자기후도는 제작 단계에 따라 기본기후도와 이차기후도, 분석기후도 등 3종류로 나누어지며 기본기후도(primary products) 단계에서는 일 최고기온, 일 최저기온, 일사량, 강수량 등이 아래와 같은 정보로 제공된다.

가. 일 최고기온: 월별 일 최고기온의 30년 평균

나. 일 최저기온: 월별 일 최저기온의 30년 평균

다. 일사수광량: 월별 일 적산일사량의 30년 평균(수평면이 아닌 사면 일사량)

라. 강수량: 월별 적산강수량의 30년 평균

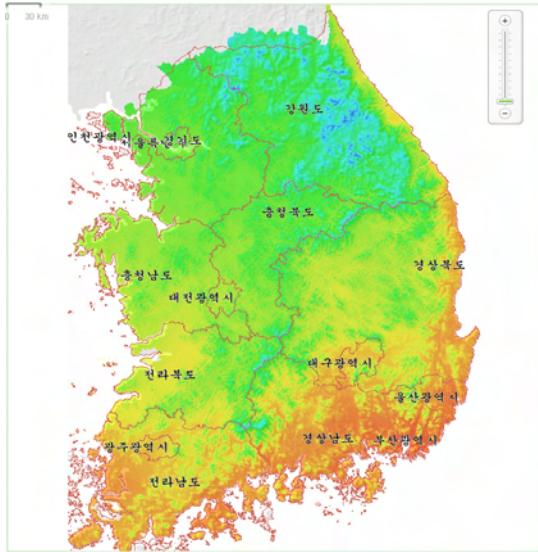


그림 63. 기본기후도 일최고기온(1월)

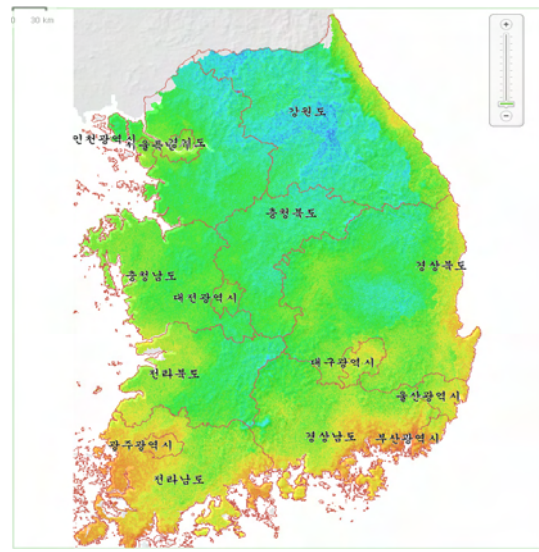


그림 64. 기본기후도 일최저기온(1월)

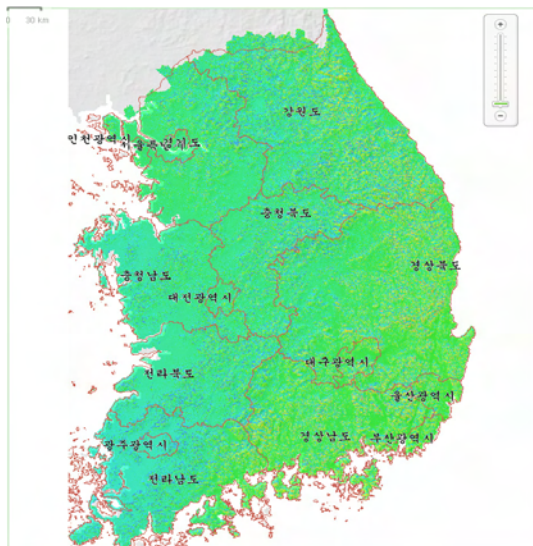


그림 65. 기본기후도 일사수광량(1월)

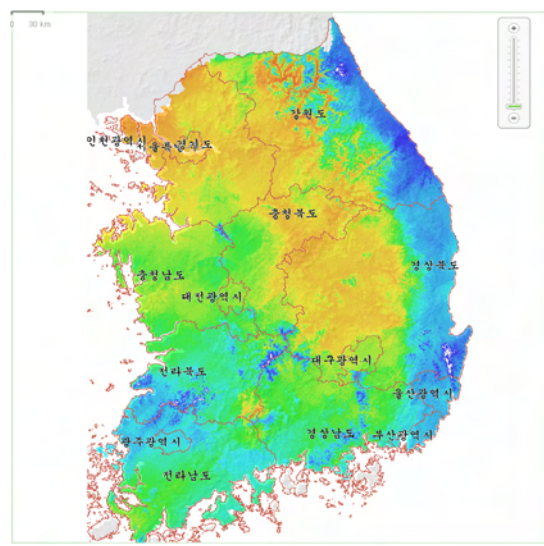


그림 66. 적산 강수량(1월)

4. 이차기후도

이차기후도(secondary products) 단계에서는 기본기후도를 토대로 다음과 같은 “농업기후지수”로 아래와 같이 제공된다.

- 가. 월 최저기온(재현기간 = 10년, 30년): 10년 혹은 30년에 한번 기록될 수 있는 1월 최저기온을 통계학적으로 추정된 것임(1월의 31일간 일별 최저기온을 30년간 평균한 것)
- 나. 생장개시일(Tbase 0℃, 5℃, 10℃): 작물별 생장 개시 온도(기준온도, Tbase) 이상으로 일 평균기온이 올라가는 첫째 날(예, Tbase 가 0℃ 라면 0℃ 이상이 되기 시작한 날짜를 지도로 표현)
- 다. 생장종료일(Tbase 0℃, 5℃, 10℃): 작물별 생장 가능 최저온도 이하로 일 평균기온이 내려가는 첫째 날(예, Tbase 가 0℃ 라면 0℃ 이하로 내려가기 시작한 날짜를 지도로 표현)
- 라. 종상일: 마지막 서리 내린 날
- 마. 초상일: 첫 서리 내린 날
- 바. 계절 일사량: 겨울(12-2월), 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-11월)의 적산일사량
- 사. 연간 일사량: 1-12월까지 연간 적산일사량
- 아. 계절 강수량: 겨울(12-2월), 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-11월)의 적산강수량
- 자. 연간 강수량: 1-12월까지 연간 적산강수량

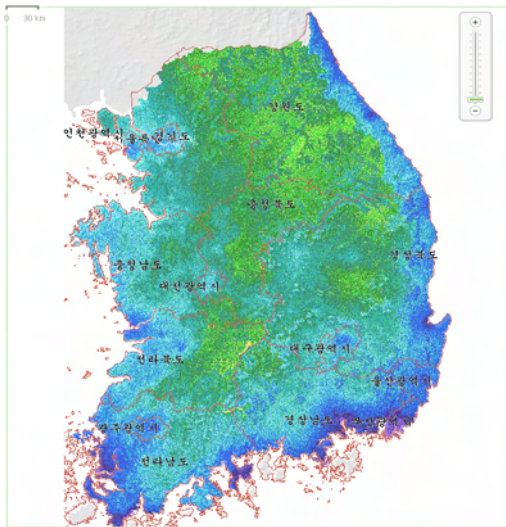


그림 67. 초상일



그림 68. 중상일

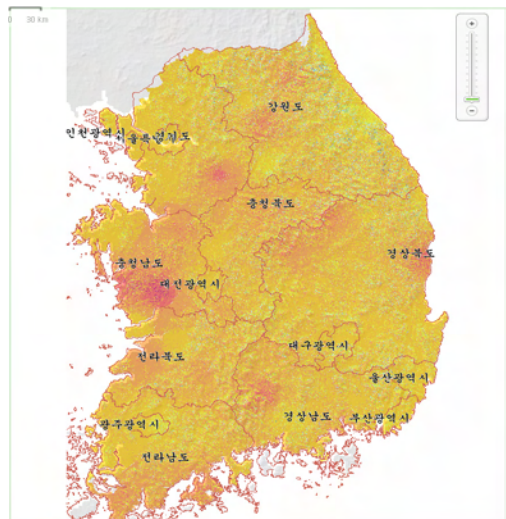


그림 69. 계절일사량(봄)

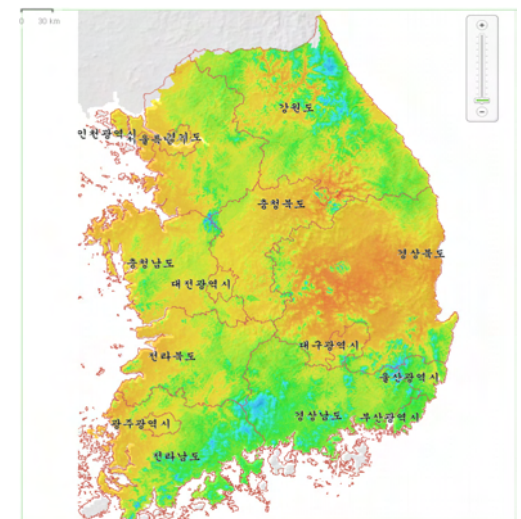


그림 70. 연간 적산강수량

5. 분석기후도

분석기후도(analytical products) 단계에서는 기본기후도와 이차기후도를 이용하여 작물 혹은 품종별로 다음 정보를 아래와 같이 제공한다.

- 가. 성장유효적산온도(GDD0, GDD5, GDD10, GDD15): 작물별 성장개시온도 이상에서의 누적온도, 즉 생육에 유효한 온도의 1년간 적산값(일 최고 및 최저기온에 의해 계산)
- 나. 생리적 성숙일(적산 GDD): 작물의 생리적 성숙에 필요한 최소한의 성장유효온도에 도달한 날짜로서 주요 작물의 성장 개시온도에 따라 제작
- 다. 내생휴면해제일: 계산된 휴면심도가 수목별로 정해진 저온요구량(휴면해제에 필요한 최소량)에 도달한 날짜
- 라. 강제휴면해제일: 일 평균기온이 기준온도 이상으로 상승하여 이제 더 이상 기온조건이 발아나 출엽에 장애가 되지 않게 되는 첫째 날
- 마. 단기내동성 지속기간: 휴면심도가 최대값에 도달하여 내생휴면이 해제된 날부터 시작하여 강제휴면이 해제되기 직전까지의 최대내동성 유지기간
- 바. 발아(출엽)일: 강제휴면해제일 이후 누적 성장유효온도가 식물별로 정해진 수준에 도달하여 꽃눈 혹은 잎눈이 터지는 날
- 사. 개화(만개)일: 누적된 가온량이 정해진 수준에 도달하여 정상수세의 나무에서 꽃눈의 70~80%가 개화한 날
- 아. 동해위험도지수: 월동기간 중 저온에 의한 꽃눈의 피해위험확률(1월의 최저기온과 휴면심도를 기반으로 경험식에 의해 추정)

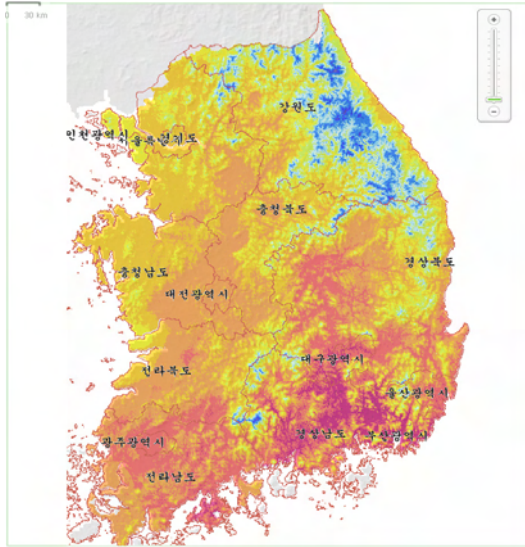


그림 71. 발아일

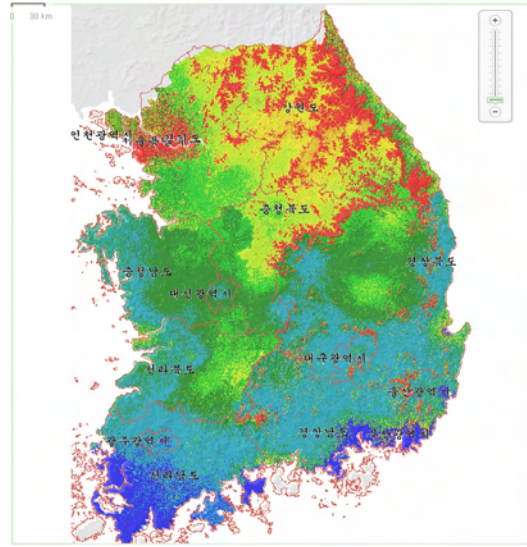


그림 72. 동해위험지수

6. 전자기후도 맵 뷰어 시스템

전자기후도 맵 뷰어 시스템은 자체 개발한 GIS기반의 맵 뷰어로 Java program 모듈로 개발되어 사용자 중심의 인터페이스를 제공한다. 주요 기능은 아래와 같다.

- 가. 지역찾기: 상단의 지도에 찾고자 하는 지점을 클릭하거나, 지도를 드래그해서 원하는 위치의 지도로 이동
- 나. 지도제어: 마우스휠(마우스휠 : ↑ 확대 , ↓ 축소)이나 확대/축소 버튼을 이용해 지도를 확대/축소
- 다. 지도속성보기: 마우스의 커서를 지도위에 놓고 오른쪽 버튼을 클릭하면 지점의 속성 조회
- 라. 맞춤 지도 보기: 관심지역을 설정하면 지도에서 관심 지역으로 쉽게 이동

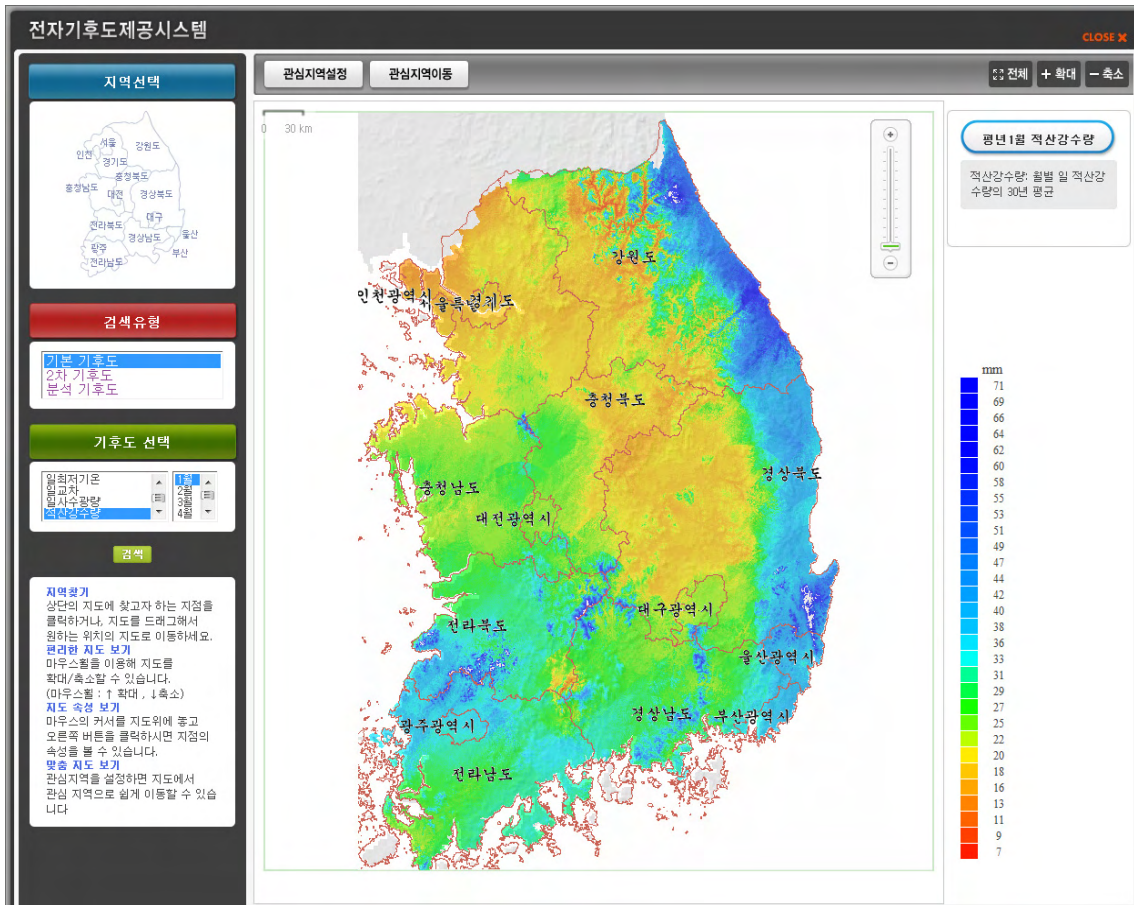


그림 73. 지도뷰어 시스템의 초기화면

마. 레이어 중첩: 지리산 인근 지역의 전자기후도 제공에 있어서는 행정구역도 이외에 하천, 강, 지리산 영역에 대한 속성 레이어를 중첩하여 지도를 조회할 수 있다.

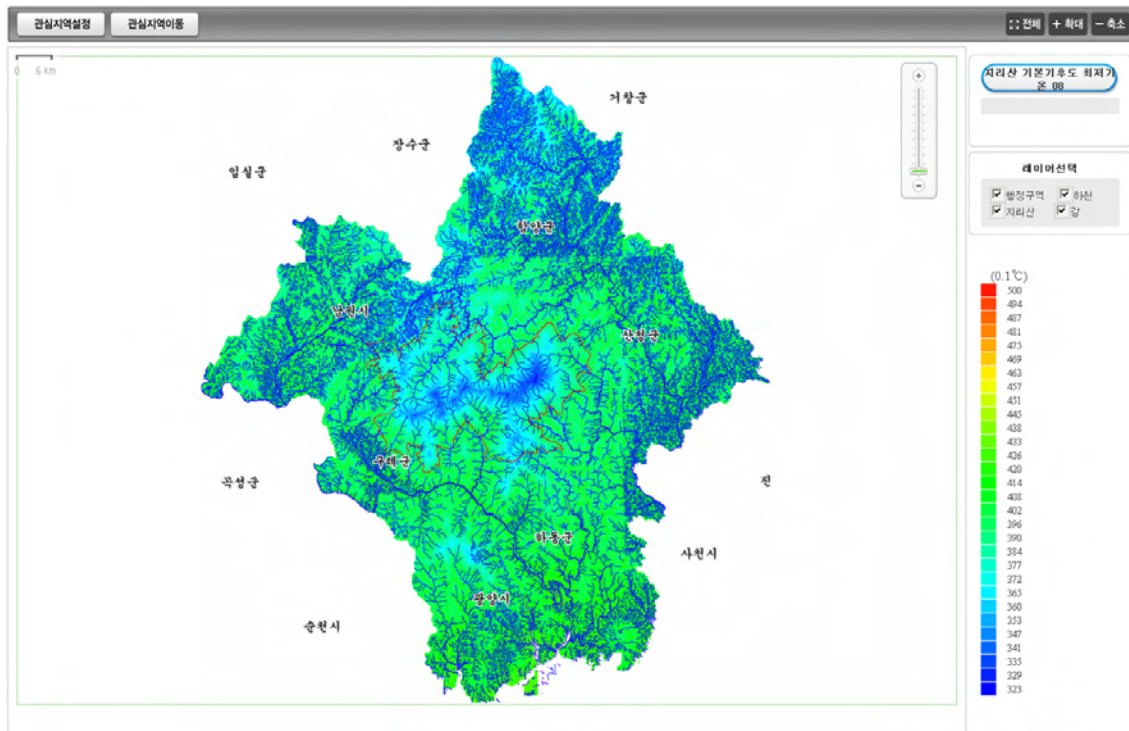


그림 75. 레이어 중첩을 통한 지도 조회

제 3 절 동네예보 전처리기술

2008년 10월부터 기상청에서 공식서비스를 시작한 ‘동네예보’는 3시간 간격 기온, 바람, 습도, 강수확률 등을 5km 격자단위로 제공하는 획기적인 일기예보서비스이다. 본 과제에서는 동네예보 Grid 자료 ftp 수신시스템(<ftp://rice.snu.ac.kr>)을 통해 기온, 습도, 강수량자료를 수신하고 이들 자료에 소기후추정모형을 적용하여 5km 격자 내 기상분포를 30m 해상도로 추정하는 전처리시스템을 구축하였다. 이 때 주변 지형에 의한 그늘 효과(주간 기온), 일사수광량 및 기온당량(주간 기온), 온난대효과(야간 기온), 냉기침강 효과(야간 기온)가 반영되며, 3시간 간격자료를 1시간 간격으로 선형 보간 함으로써 매시자료를 요구하는 농업모형의 입력자료를 확보하였다.

1. 동네예보 수신

가. 동네예보자료 수신서버 구축

- (1) 수집기간: 2008년 10월부터 ~ 현재까지
- (2) 수집방식: ftp(file transfer protocol) 방식의 자료 수신
- (3) 수신서버 주소: <ftp://rice.snu.ac.kr>

나. 동네예보자료 구성요소

- (1) 예보요소: 3시간 기온, 일 최고기온, 일 최저기온, 강수확률, 강수량, 적설, 하늘상태, 강수형태, 습도, 풍향, 풍속, 파고(총 12개)
- (2) 시간단위: 3시간 간격 예보 (발표시간 하루 총 8회 : 2시, 5시, 8시, 11시, 14시, 17시, 20시, 23시)
- (3) 한 격자 크기: 5km×5km(가로×세로)
- (4) 한 격자: 4바이트 실수형 binary
- (5) 한 판당 149*253격자 = 총 37,697개(한반도 전역)
- (6) (좌하단 -> 우하단) -> 우상단

2. 동네예보 변환 및 행정구역별 DB화

동네예보 Grid 파일에 들어 있는 3시간 간격의 자료를 추출하여 17개 ASCII 파일로 변환, ftp방식으로 아피스(AFFIS) 서버로 전송하고 ASCII 파일을 읽어 들이는 Loader를 활용하여 동네예보자료를 매 3시간 단위의 읍면동 동네예보 DB로 구축하였다.

The screenshot shows the AFFIS website interface. The main content area displays a weather forecast for '경기도 안양시 만안구 안양1동' (Anyang 1-dong, Manan-gu, Gyeonggi-do) for the dates 02/10, 02/11, and 02/12. The forecast includes weather icons, temperature ranges, and precipitation probabilities.

날짜	오늘	내일	모레
날씨	흐림	구름조금	비
기온 (°C)	최저 3°C 최고 9°C	최저 2°C 최고 11°C	최저 2°C 최고 11°C
강수확률 (%)	오전 14% / 오후 20%	오전 0% / 오후 0%	오전 34% / 오후 70%

Below the forecast, there is a temperature graph and a table for '도시별 오늘 날씨' (Today's weather by city):

도시	날씨	최저	최고	강수확률
서울/경기	흐림	4°C	8°C	오전 20% / 오후 20%
서해5도	흐림	5°C	7°C	오전 0% / 오후 66%
영서	흐림	1°C	8°C	오전 0% / 오후 20%
영동	맑음	4°C	11°C	오전 0% / 오후 0%

그림 76. 동네 예보를 활용한 내 고장 날씨 서비스 화면

3. 동네예보 보간

동네예보 요소 중 기온, 습도, 강수량자료(3시간 간격의 자료)를 매시간별 선형 보간한 뒤 5km 격자 예보자료를 30m 격자 고해상도 Grid 자료로 보간 IDSW에 따른 기상자료 추정 모형에 근거, 인접한 지점(4개)들의 동네예보 값을 이용하여 30m 격자별 기상을 추정하였다(5km격자 동네예보와 30m 격자 DEM 활용). 일 최고기온과 일 최저기온(1일 간격의 자료)는 5시에 발표된 자료를 활용하여 보간 IDSW를 사용하는 동일한 방법으로 30m 격자별 기상을 추정하였다. 동네예보 보간을 위한 가공 처리 프로세스를 매시간 처리 작업으로 등록하여 작업 목록 순서대로 처리하고 결과 파일을 데이터파일 및 이미지 형태로 날짜시간별, 예보 요소별 디렉토리에 저장하였다.

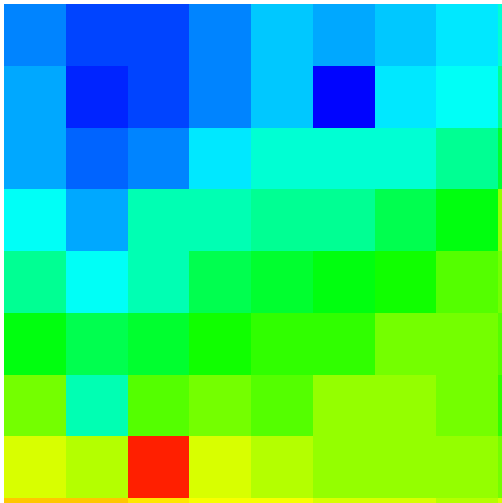


그림 77. 동네예보 5Km급 격자 부여지역 기온



그림 78. 30m급 격자로 정밀화된 부여지역 기온

4. 소기후모형 적용 모형입력자료 확보

5km 격자점 단위로 제공되는 동네예보 Grid 파일을 수집하여 그늘효과, 사면일사 효과, 냉기유입효과, 온난대효과 등 국지기후에 미치는 지표특성을 정량화 시킨 각종 소기후모형과, 30m DEM 등 정밀공간정보에 의해 5km 영역 내 기상변이 분포를 30m 해상도로 변환하는 과정을 설계하고 이를 자료 전처리 시스템으로 구현하였다.

매 시간별로 30m격자지점에 대하여 일출/일몰시 계산, 그늘효과 등을 활용한 직달 일사값 추정을 통하여 일사 수광량 및 기온당량을 산출함으로써 주간 기온을 보정하였다. 또한 해발고도 및 일교차로 인한 온난대 효과와 해발고도의 냉기유입량과 일교차로 인한 냉기침강 효과를 산출하여 야간기온을 보정하였다.

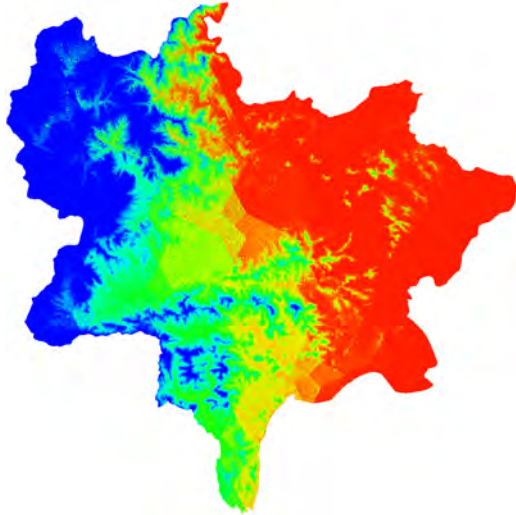


그림 79. 2008-12-08 18시(일몰 직후)
기온 보정 전 지도

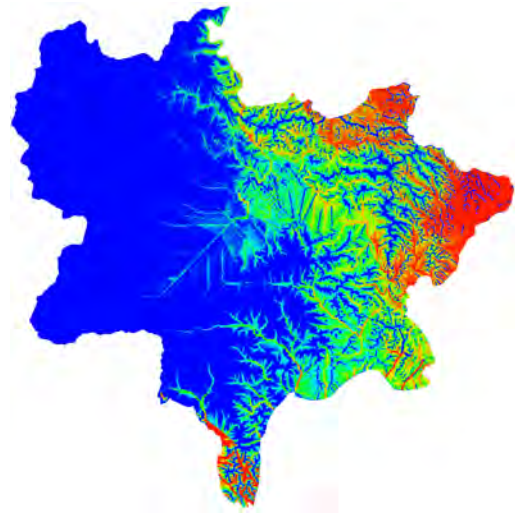


그림 80. 2008-12-08 18시(일몰 직후)
기온 보정 후 지도

5. 동네예보를 활용한 농업모형 구동

전처리과정에 의해 생성된 충남 예산군 지역의 30m 격자점 매시 기상자료를 해당 농업모형에 입력시켜 병해충 발생예찰정보, 생물계절정보, 작황품질정보 등의 정보를 생산하고 그 결과를 30m 격자 형태의 그리드로 저장하여 png 포맷의 이미지 파일로 생성하였다. 농업모형 구동 프로그램은 Java를 이용하여 개발되었다.

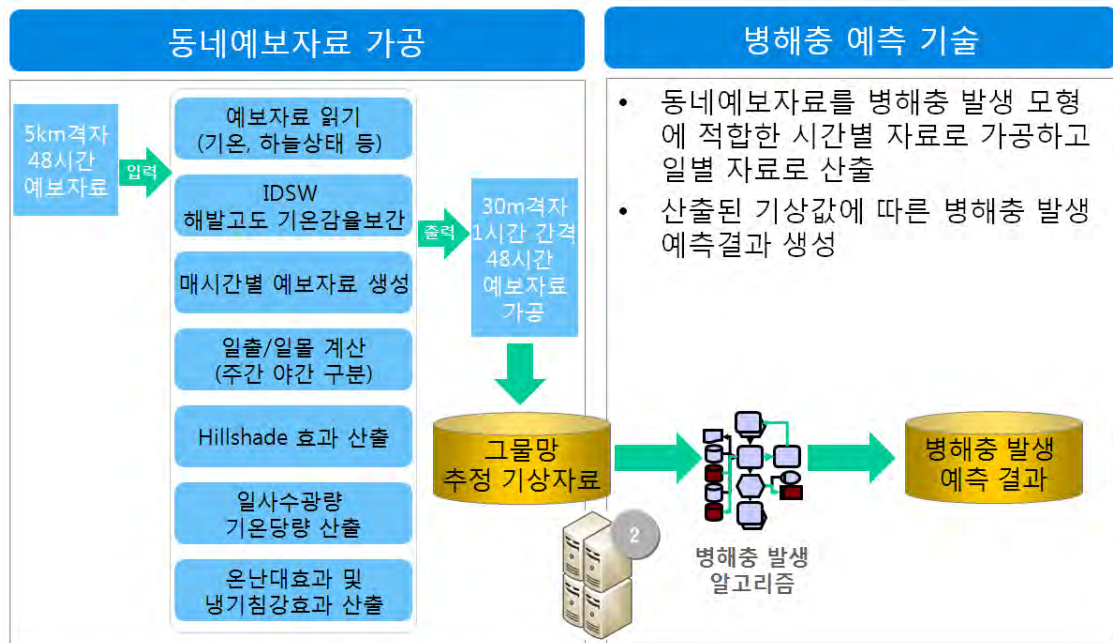


그림 81. 농업모형입력자료 체계

농업모형은 예산군의 ‘사과’에 대한 서비스에 국한되어 아래와 같은 항목을 동네 예보자료에 기반한 30m 격자점 매시 기상자료 및 일별 기상자료를 활용하여 자동으로 구동되도록 처리하였다.

농업모형	내 용	비고
생물계절정보	휴면해제일, 생리적 성숙일, 발아기, 만개기	
병해충 발생예측	복숭아심식나방, 애모무늬잎말이나방, 굴나방, 사과무늬잎말이나방	
품질정보	과형지수, 과피내 anthocyanin 함량, Hunter a value, 당도, 경도	당도, 경도의 경우는 쓰가루 품종만 적용

가. 생물계절정보

(1) 휴면해제일, 발아기 만개기

(가) 입력자료: 일 최고 및 최저기온(단위: ℃), 기준온도(단위: ℃), 저온 및 고온요구

도 (단위: dimensionless)

(나) 출력자료: 휴면해제일(단위: date)

(다) 관련식:

Case	Temperature	Chill Days (C_d)	Anti-Chill Days (C_a)
1	$0 \leq T_c \leq T_n \leq T_x$	$C_d = 0$	$C_a = T_M - T_c$
2	$0 \leq T_n \leq T_c \leq T_x$	$C_d = -\left[(T_M - T_n) - \left(\frac{T_x - T_c}{2} \right) \right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$
3	$0 \leq T_n \leq T_x \leq T_c$	$C_d = -(T_M - T_n)$	$C_a = 0$
4	$T_n \leq 0 \leq T_x \leq T_c$	$C_d = -\left(\frac{T_x}{T_x - T_n} \right) \left(\frac{T_x}{2} \right)$	$C_a = 0$
5	$T_n \leq 0 \leq T_c \leq T_x$	$C_d = -\left[\left(\frac{T_x}{T_x - T_n} \right) \left(\frac{T_x}{2} \right) - \left(\frac{T_x - T_c}{2} \right) \right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$

· 기호설명

C_d : Chill days

C_a : Anti-chill days

T_x : Daily maximum temperature

T_n : Daily minimum temperature

T_c : Threshold temperature

T_M : Daily mean temperature

(라) 보충설명: $T_c = 7^\circ\text{C}$, $Cr = -155$ & $Hr = 589$ 을 예를 들면 기준온도 7°C 와 위 식의 조건에 맞는 것을 찾아 매일의 C_d 와 C_a 가 계산되고 전날 계산된 C_d 와 C_a 는 계속 누적된다. 이때 C_d 는 -값을 갖게 되며 누적된 -값이 저온요구도 즉, 설정한 저온요구도 -155 에 도달하면 내생휴면이 해제된다. 따라서 C_a 가 -155 에 도달하는 날짜를 출력하면 그것이 휴면해제일이 된다. 마찬가지로 C_a 도 누적시키는데 처음부터 누적시키지 않고 내생휴면이 해제된 날부터 C_a 를 누적시켜서 휴면해제일 때의 누적 C_d 값에

C_a 를 더해주면 된다. 예를 들어 2월 7일 휴면이 해제되었고 다음 날인 2월 8일 C_a 가 1.5이었다면 -155에서 1.5를 더해주면 -153.5가 남고 다음 날 2월 9일 C_a 는 3.5였고 전날 누적된 C_a 는 1.5이었으므로 2월 9일 누적 C_a 는 5.0이다. 이것을 -155에 더해주면 -150이 된다. 이런 식으로 하여 마지막으로 내생휴면해제일 이후의 C_d 가 0이 되는 날은 바로 발아일이 되는 것이고 내생휴면해제일부터 C_a 의 적산값 H_r 이 589에 도달하는 날은 개화일이 된다. 따라서 이 계산식의 시작점은 가을이라고 할 수 있으며 끝은 여름(6월30일)이라고 볼 수 있겠다.

(2) 생리적 성숙일

(가) 입력자료: 일 최고 및 최저기온, 기준온도와 최적온도(입력자료의 단위: $^{\circ}\text{C}$)

(나) 출력자료: 누적 GDD(단위: $^{\circ}\text{C}$)

(다) 관련식

$$T_{base} = 0 \ \& \ T_{opt} = 30$$

$$GDD_0 = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base}$$

$$\text{if } T_{min} < T_{base}, \ T_{min} = T_{base}$$

$$T_{max} > T_{opt}, \ T_{max} = T_{opt}$$

(라) 기호설명: T_{base} 는 기준온도 혹은 한계 최저온도, T_{opt} 은 최적온도, T_{min} 은 일 최저기온, T_{max} 는 일 최고기온

(마) 보충설명: 기준온도는 작물이 생장을 개시하는 온도이면서 자랄 수 있는 한계 최저온도이다. 예를 들어 옥수수는 일 평균온도가 10°C 되었을 때 생장을 개시하고 이 온도이하로 내려가면 성장발육에 장애를 받을 수 있다. 성장도일(Growing Degree Day, GDD)이란 한계 최저온도 이상의 온도를 매일 누적시키는 것을 의미한다. 또한 이 프로그램이 작동되는 시작일은 T_{base} 와 연결된다. 즉 T_{base} 가 0°C 이상일 때부터 조건을 읽어 주어진 계산식에 의해 GDD가 누적되는 것이다. 전자기후도를 예를 들면 전자기후도는 평년 GDD이기 때문에 1에서 365일 기온자료가 준비되어 있다. 따라서 쉽게 1에서 365개의 기온자료를 모두 입력하면 기준온도에 도달한 날에 기준온도에 도달한 격자점을 읽어 계산을 시작한다. 또는 점단위로 엑셀에서 작성한 macro로부

터 임의 포장에서 관찰한 기온을 적용할 때는 입력한 기온자료 중 T_{base} 에 도달한 날부터 계산식을 적용하여 GDD를 누적하는 것이다.

(3) GDD계산

(가) 입력자료: 누적 생장도일(단위: $^{\circ}\text{C}$), 생리적 성숙에 도달하는 기준 누적 GDD

(나) 출력자료: 생리적 성숙날짜(단위: date)

(다) 보충설명: 생리적 성숙일은 매일의 누적 GDD를 입력받아 기준으로 설정한 누적 GDD에 도달했는지를 판단하고 누적 GDD에 도달했다면 도달한 해당 날짜를 표출하는 방법이다. 따라서 생리적 성숙일은 GDD 계산 프로그램과 연계되어 있어야 한다. 생장개시온도가 작물에 따라 다양하듯이 생리적 성숙일에 도달하는 기준 누적GDD 또한 다양하다. 기준온도 0°C , 기준누적 GDD 3000°C)를 예를 들자면 누적 GDD를 계산하는 인터페이스에는 기준온도(≒한계 최저온도)와 기준 누적 GDD 를 환경설정 파일에 설정할 수 있게 구현하고 역시 입력날짜와 종료날짜도 사용자가 입력할 수 있게 구현했다. 즉, 시작날짜를 받아서 일 최고 및 최저기온을 읽고 기준온도 0°C 와 조건식에 맞으면 매일의 GDD를 계산한다. 계산된 매일 GDD는 다시 전날 계산된 GDD와 누적되고 누적 GDD는 설정된 기준 누적 GDD 3000°C 와 비교하여 이 값에 도달하지 않으면 넘어가고 도달하면 도달한 날짜를 표출한다.

나. 병해충 발생예측

충남 예산군 지역의 30m 격자 일별 최고기온과 일별 최저기온 자료를 평균하여 일 평균기온을 산출하였으며 병해충 발생 예측 모형의 입력자료로 활용하였다. 각각의 병해충 발생 예측 매일 00시에 자동으로 예측 모형을 구동하고 결과를 저장한다.

(1) 복숭아심식나방

(가) 입력자료: 일 평균기온(입력자료의 단위: $^{\circ}\text{C}$)

(나) 출력자료: 생육단계별 적산온도(단위: $^{\circ}\text{C}$)

(다) 모형설명: 3월 1일부터 평균온도가 7.6°C 이상인 날의 온도를 적산하여 발육률

을 계산한다.

(2) 애모무늬잎말이나방

(가) 입력자료: 일 평균기온(입력자료의 단위: °C)

(나) 출력자료: 생육단계별 적산온도(단위: °C)

(다) 모형설명: 3월 1일부터 평균온도가 8°C 이상인 날의 온도를 적산하여 발육률을 계산한다.

(3) 굴나방

(가) 입력자료: 일 평균기온(입력자료의 단위: °C)

(나) 출력자료: 생육단계별 적산온도(단위: °C)

(다) 모형설명: 3월 1일부터 평균온도가 8°C 이상인 날의 온도를 적산하여 발육률을 계산한다.

(4) 사과무늬잎말이나방

(가) 입력자료: 일 평균기온(입력자료의 단위: °C)

(나) 출력자료: 생육단계별 적산온도(단위: °C)

(다) 모형설명: 2월 15일부터 평균온도가 8°C 이상인 날의 온도를 적산하여 발육률을 계산한다.

다. 품질정보

(1) 사과 ‘후지’의 기상과 관련된 품질 회귀모형

(가) 품질 회귀모형의 종류:

- ① 과형지수(L/D ratio)
- ② 과피 내 anthocyanin 함량
- ③ Hunter a value

(나) 입력자료: 기온자료

(다) 관련식:

종류	회귀식	입력기온
과형지수(L/D ratio)	$Y = -0.012X + 1.166$ 최상품기준: $0.85 \leq Y$	X: 4월 ~ 7월의 최고기온
과피내 anthocyanin 함량	$Y = -0.969X + 28.239$ 상품기준: $14\mu\text{g} \leq Y$	X: 10월 평균기온
Hunter a value	$Y = -1.756X + 49.095$ 상품기준: $25 \leq Y$	X: 10월 평균기온

(2) 사과 ‘쓰가루’의 기상과 관련된 품질 회귀모형

(가) 품질 회귀모형의 종류:

- ① 당도(°Bx)
- ② 경도(kg/5mmΦ)
- ③ 과피 내 anthocyanin 함량
- ④ Hunter L value
- ⑤ Hunter a value

(나) 입력자료: 기온자료

(다) 관련식:

종류	회귀식	입력기온
당도(°Bx)	$0.209X + 8.433$ 상품기준: $13^{\circ}\text{Bx} \leq Y$	X: 8월의 평균기온
경도(kg/5mmΦ)	$Y = -0.042X + 1.981$ 상품기준: $1.2 \leq Y$	X: 4 ~ 8월의 평균기온
과피내 anthocyanin 함량	$-2.457X + 60.475$ 상품기준: $8 \leq Y$	X: 8월의 평균기온
Hunter a value	$Y = -0.823X + 10.353$ 상품기준: $-11 \leq Y$	X: 4 ~ 8월의 최고기온

제 4 절 기후자료 DB관리 시스템 구축

기본기후도, 이차기후도, 분석기후도, 등 각종 전자기후도 DB 파일구조를 표준화하고 관리기능을 설계하고 이들 DB layer를 웹상에서 검색하고 필요한 부분을 사용자에게 제공할 수 있는 map base의 자료를 데이터베이스화 하였다. 기후도 자료 및 농업기상 예보 자료 관리/운영 편의성을 위하여 DB 관리 기능이 설계되었으며 관련 자료를 데이터베이스 형태로 저장하여 농업기상예보시스템에서 활용하도록 구축하였다. 데이터베이스는 mysql을 사용하였으며 전자기후도 DB, 동네예보 관련 DB, 농업기상예보 결과자료 DB로 구성되었다.

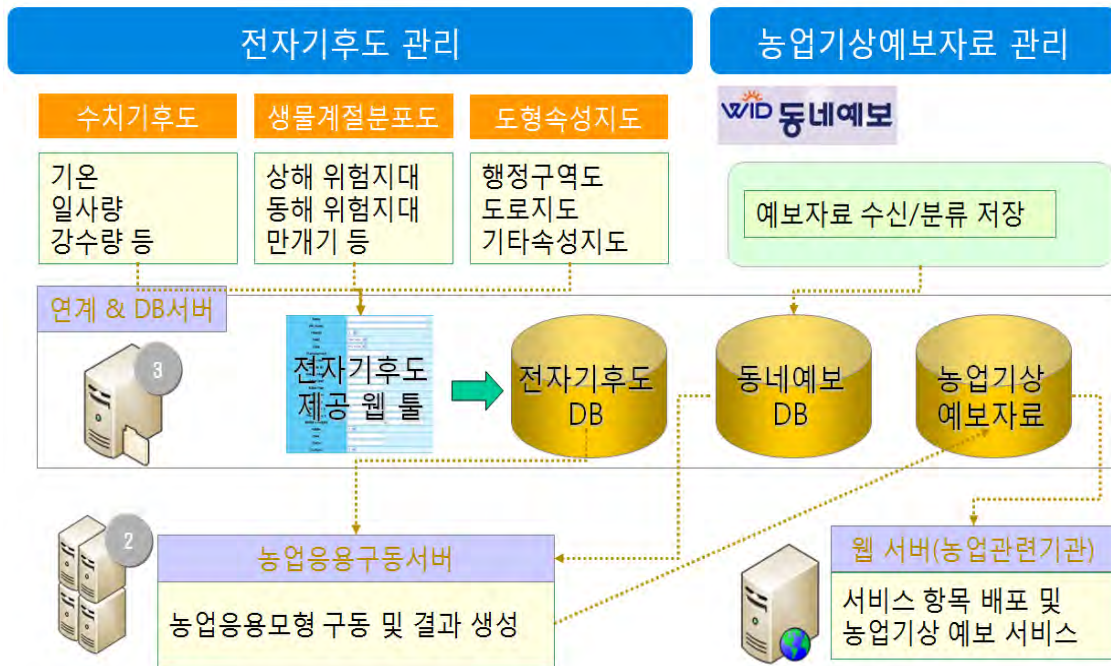


그림 82. 전자기후도 및 농업응용기상자료 DB 관리 체계

기후자료 DB는 웹페이지를 통하여 관리 될 수 있도록 관리툴을 개발하였으며 기후도명부터 해당 기후도의 공간속성정보, 기후도의 최대/최소값, 이미지로 만들 때 적용될 색상표등을 관리정보로 등록해야 한다.

File List						
140 건 검색되었습니다.						Page (1 / 10)
No	Name	Type	Width	Height	Created time	Action
1	평년 1월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
2	평년 2월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
3	평년 3월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
4	평년 4월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
5	평년 5월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
6	평년 6월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
7	평년 7월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
8	평년 8월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
9	평년 9월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
10	평년 10월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
11	평년 11월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
12	평년 12월 일 최고기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
13	평년 1월 일 최저기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
14	평년 2월 일 최저기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]
15	평년 3월 일 최저기온	RASTER	10560	16169		[Modify] [Delete]

There is no data.

<< [1] [2] [3] [4] [5] >>

Name [검색]

[Make a New File Record]

그림 83. 기후도 DB 목록 화면

File 정보 수정	
Data File ID	1
Name	<input type="text" value="평년 1월 일 최고기온"/>
File Name	<input type="text" value="maxtemp1"/>
Month	<input type="text" value="1"/>
Field	<input type="text" value="MaxTemp"/>
Type	<input type="text" value="RASTER"/>
Transparency	<input type="text" value="100"/>
Projection	<input type="text" value="2097"/>
Profile ID	<input type="text" value="1"/>
Value Column	<input type="text" value="pixel"/>
Value Unit	<input type="text" value="(°C)"/>
Value Max	<input type="text" value="8.03556"/>
Value Min	<input type="text" value="-7.53993"/>
NO Data	<input type="text" value="-3.40282e+38"/>
Min x, Min y	<input type="text" value="116153.507812"/> , <input type="text" value="88371.953125"/>
Max x, Max y	<input type="text" value="432963.507812"/> , <input type="text" value="573441.953125"/>
Width x Height	<input type="text" value="10560"/> x <input type="text" value="16169"/>
Folder	<input type="text" value="maxtemp"/>
User	<input type="text" value="kangws"/>
Status	<input type="text" value="1"/>
Status2	<input type="text" value="1"/>

[수정완료] [돌아가기]

그림 84. 기후도 정보등록화면

제 5 절 농업기상예보시스템 구축

농업기상예보시스템은 수치기후도 관리를 통하여 DB에 저장 가능하게 하고 동네 예보자료를 가공/추출하며 농업기상예보에 필요한 응용모형을 구동하여 결과를 생성한다. 농업기상 DB 및 연계 서버에서는 전자기후도를 수집/배포하고 동네예보자료를 수신/배포하며 농업기상예보 서비스를 위한 시스템으로 자료를 배포하고 있다. 농업기상예보 자료는 웹서버를 통하여 사용자에게 서비스 되도록 구성되어 있다.

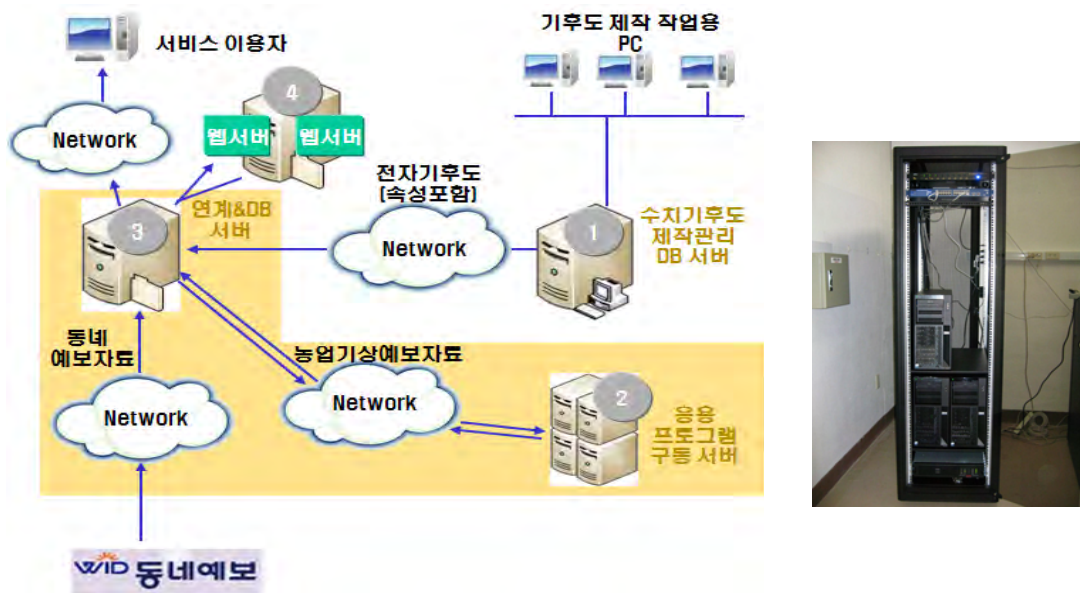


그림 85. 농업기상예보시스템의 전체 구성도 및 서버 설치

가. H/W 시스템 사양 및 용도

(1) 시스템 사양

서버명	사양	유형
(가) 수치기후도 제작 관리	① Model: IBM X3500 ② CPU: Intel Xeon Quad Core 2.33GHz ③ RAM: 4 GB, HDD: 1 TB ④ OS : Windows 2003	DB관리 서버
(나) 농업모형구동	① DL580RG5 ② CPU:Quad-Core 2.4GHz, ③ RAM:16GB, HDD: 146G*8 ④ OS : Redhat Server5 ⑤ DBMS: Oracle10g	응용 서버
(다) 농업기상 DB 및 연계	① Model: IBM X3500 ② CPU: Intel Xeon Quad Core 2.33GHz ③ RAM: 4 GB, HDD: 1 TB ④ OS : Ubuntu	연계 & DB서버
(라) 농업기상예보 웹 서버		웹서버

(2) 시스템의 용도

서버명	용도	유형
(가) 수치기후도 제작관리	① 전자기후도 제작 DB화 및 전송 관리	DB관리 서버
(나) 농업모형 구동	① 동네예보자료 가공 및 추출 ② 농업응용모형 구동 및 결과 생성	응용 서버
(다) 농업기상 DB 및 연계	① 전자기후도 수집 및 배포 ② 동네예보자료 수신 배포 ③ 농업기상예보 서비스를 위한 시스템으로 자료 배포	연계 & DB서버
(라) 농업기상예보 웹 서버	① 대민서비스용 홈페이지 구동	웹서버

나. 농업기상예보 서비스 내용

예산군을 대상으로 기상실황 및 생물계절정보, 병해충 발생 예측정보, 사과 품질 정보 등의 농업기상예보자료에 대한 웹 기반의 홈페이지를 구축하여 정보를 제공할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

메뉴	제공 내용
(1) 메인페이지	① 예산군 권역의 면단위 기상실황 및 예보정보
(2) 기상실황	① 동네예보기반의 30m급 실황기상 추정지도(시간별 기온, 강수량) ② 평년대비 오늘(읍면동 단위의 평년기후자료 대비 현재 편차 제공, 적산온도, 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량)
(3) 생물계절 정보	① 예산군 ‘사과’(휴면해제일, 발아기, 만개기, 생리적 성숙일에 대한 평년자료 및 당해연도 예상치 비교)
(4) 병해충 발생 예측	① 예산군 ‘사과’(복숭아심식나방, 애모무늬잎말이나방, 굴나방, 사과무늬잎말이나방 발생 예측 정보)
(5) 품질정보	① 과형지수, 과피내 anthocyanin 함량, Hunter a value, 당도, 경도에 대한 평년기준, 올해 예상치 정보 제공

다. 농업기상예보 서비스 화면

위성지도 기반에서 충남 예산군 지역을 선택하고 조회하고자 하는 일시를 선택하면 기상실황, 생물계절정보, 병해충 발생 예측정보, 품질정보를 선택한 일시와 평년(1971-2000)과 대비 정보를 제공한다.

Agrometeorological Forecasting
농업기상예보

기상실황 생물계절 병해충발생예측 작황품질 관련사이트 공지사항

농업기상예보시스템으로 앞서가는 세상을 만들어 가겠습니다.

Weather Report

기상정보
Weather Report

- 내고장 날씨
- 기상예보지도
- 평년대비 오늘

평년대비 오늘

평년의 기상정보와 선택하신 일시의 기상정보를 비교하여 보여드립니다. 비교하시고자 하시는 일시와 지역을 선택해 주세요.

일시선택 | 2010 년 4 월 14 일 0 시

지역선택 | 지역을 선택해주세요

지도에서 지역을 클릭하시면 해당 자료가 하단에 표시됩니다.

[충청남도 예산군 모가면]
2010년 04월 14일 16시

구분	평년 1971~2000	오늘	편차	
기온	적산온도	-	0°C	-
	일최고온도	17.6°C	8.4°C	9.2°C
	일최저온도	4.8°C	-1.4°C	-3.6°C
강수량	0mm	0mm	0	

그림 86. 기상실황 중 평년대비 오늘 화면

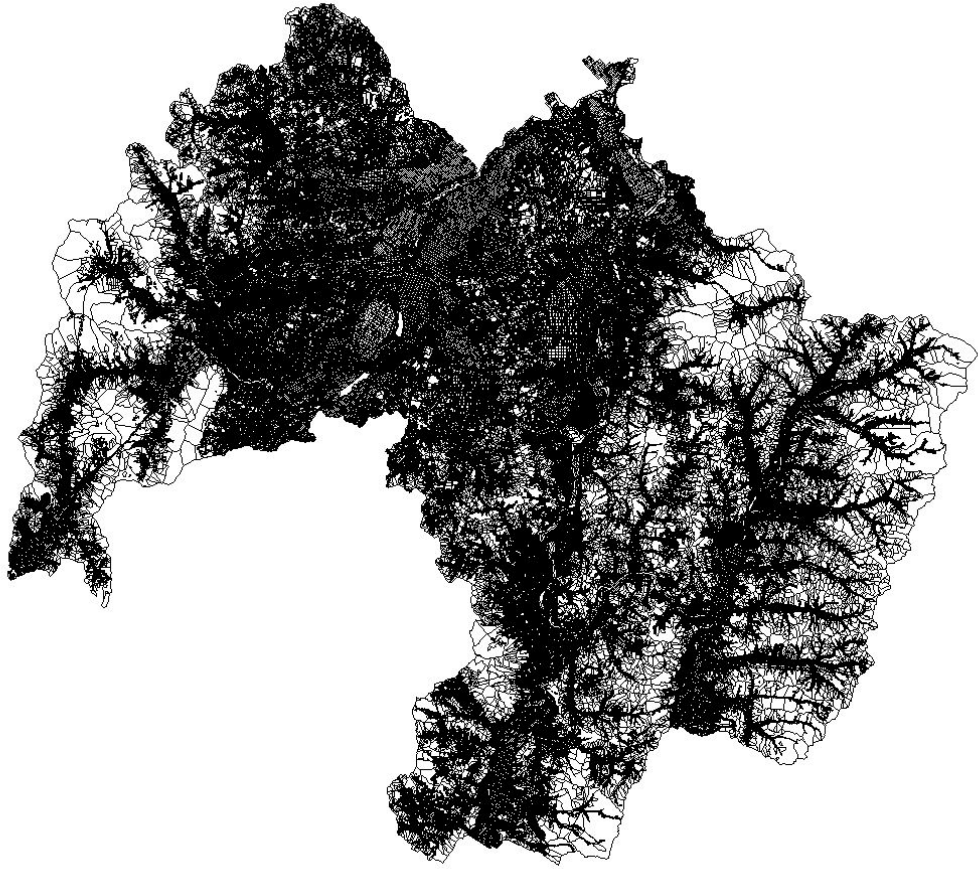


그림 87. 예산군 수치지적도

Agrometeorological Forecasting

농업기상예보

기상실황 생물계절 병해충발생예측 **작황품질** 관련사이트 공지사항

농업기상예보시스템으로 앞서는 세상을 만들어 가겠습니다.

Quality Report

작황품질정보
Quality Report

사과

사과

지역별 과수의 성장정보를 평년과 비교하여 보여드립니다. 비교하시고자 하는 지역을 선택해 주세요.

지도에서 지역을 클릭하시면 해당 자료가 하단에 표시됩니다.

지역선택 |

구분	평년자료 (1971~2000)	올해 평년기후적응시
과형지수	0.85	0.84
과피내 anthocyanin 함량	14.0g/c㎡	17.6 상품 g/c㎡
Hunter a value	24	29.8 상품
당도(쓰가루)	13°Bx	13.2°Bx
경도(쓰가루)	1.2ka/5mm◇	1.25ka/5mm◇

【충청남도 예산군 오가면】
2010년 04월 14일 16시

그림 88. 품질정보 제공화면

제 6 절 시스템 운영

(재)국가농림기상센터(NCAM)를 주된 서비스 제공기관으로 하여 시스템을 설치 운영하며 (재)한국농림수산정보센터(AFFIS)는 미리 형태의 서비스 시스템을 운영한다. 현재 전자기후도 제공시스템 및 농업기상예보시스템은 국가농림기상센터 홈페이지(<http://www.ncam.kr>)에 포함되어 운영중에 있다. 아피스에는 두 가지 시스템에 대한 백업 시스템을 구성하여 운영한다.

The screenshot displays the NCAM website interface. At the top, there's a header with the NCAM logo and the text '국가농림기상센터 National Center for Agro Meteorology'. Below the header is a navigation bar with links for '농림기상서비스', '농림기상정보', '농림기상지원', '일민마당', and '기관소개', along with a search bar and a language selector set to 'english'. The main content area is titled '02. 농림기상정보 전자기후도 소개'. On the left, a sidebar lists navigation options: '전자기후도 소개', '기본기후도' (with sub-options for '전국' and '지역'), '이차기후도' (with sub-options for '전국' and '지역'), and '분석기후도' (with sub-options for '전국' and '지역'). The main content area contains four panels, each with a title, a brief description, and a map of Korea. The panels are: 1. '생장유효적산온도(기준온도 = 0°C)' with a description about growth effective temperature and a map showing temperature distribution. 2. '낙엽수목의 휴면심도' with a description about leaf fall and dormancy depth and a map showing dormancy levels. 3. 'Campbell Early 발아(출엽일)' with a description about Campbell's early emergence and a map showing emergence dates. 4. 'Campbell Early 내생휴면해제일' with a description about Campbell's early end of dormancy and a map showing dormancy release dates. Each map has a '지도 보기' button below it.

그림 89. 국가농림기상센터의 전자기후도 서비스 화면

이. 농림기상서비스

- 작물별예보
 - ◎ 생물계절
 - 사과
 - 배
 - 귤
 - ◎ 병해충발생예측
 - 사과
 - 배
 - 귤
 - ◎ 작황품질
 - 사과
 - 배
 - 귤
- 병해충별예보
 - ◎ 고추탄저병
 - ◎ 고추역병
 - ◎ 담배나방

작황품질 - 사과



지역별 과수의 성장정보를 평년과 비교하여 보여드립니다. 비교하시고자 하는 지역을 선택해 주세요.

지역선택 |

지도에서 지역을 클릭하시면 해당 자료가 하단에 표시됩니다.

[충청남도 예산군 오가면]
2010년 04월 14일 18시

구분	평년자료 (1971~2000)	올해 평년기후적 응시
과형지수	0.85	0.84
과피내 anthocyanin 함량	14 μg/cm ²	0 μg/cm ²
Hunter a value	24	0
당도(쓰가루)	13°Bx	13.2°Bx
경도(쓰가루)	1.2 kg/5mmΦ	1.25 kg/5mmΦ



그림 90. 국가농림기상센터의 농업기상예보시스템 화면

제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구개발목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도

구분	세부연구개발 목표	평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도	복잡지형의 공간기후모형 정립	사용된 모형의 신뢰성, 국제적 인 증여부	100 %
	일 최고최저기온 전자기후도 제작	타 공간정보와의 호환성	100 %
	평년 생물계절분포도 제작	생물계절분포의 현실성	100 %
	실황기후도 제작기술	자동화 정도, 작업용이성	95 %
	실무자교육과정 및 훈련교재 개발	단기훈련교재 집필여부, 참가인원 및 다양성	100 %
2차 년도	일사수광량 분포 전자기후도 제작	타 공간정보와의 호환성	100 %
	기온기후도 검증	오차범위, 공간변이의 정확성	90 %
	평년 생물계절분포도 제작	생물계절분포의 현실성	100 %
	실황기후도 제작기술	완성도, 작업용이성	95 %
	훈련교재집필 및 연찬회 개최	교재의 실용성, 연찬회 참여도	100 %
3차 년도	강수기후도 제작	타 공간정보와의 호환성	100 %
	일사기후도 검증	오차범위, 공간변이의 정확성	90 %
	재배적지 구분(생육)	재배적지 분포의 현실성	95 %
	농업기상예보기술	작업용이성, 정보의 실용성	95 %
	훈련교재집필 및 연찬회 개최	교재의 실용성, 교육생 이해도	100 %
4차 년도	강수기후도 검증	오차범위, 공간변이의 정확성	90 %
	재배적지 구분(품질)	정보의 실용성	95 %
	DB관리시스템 구축	시스템 안정성, 효율성	100 %
	농업기상예보시스템 구축	작업용이성, 정보의 실용성	95 %
	교육훈련체계 완성	훈련과정 효율성, 상설화 여부	100 %
최종 평가	유역별 전자기후도 제작	신뢰도, 오차범위	95 %
	농업기상예보시스템 운영	지역맞춤형 여부, 실용성	90 %
	활용체제 구축	실무자교육훈련체제 완비여부	100 %

제 2 절 관련분야 기술발전예의 기여도

본 과제를 통해 전국의 기후자원을 최대 30m 해상도의, 사실상 필지단위로 정밀하게 파악할 수 있는, 디지털 기후도 및 파생산물을 제작하였다. 이들 자료는 국가 표준 지리정보규격에 맞추어 제작됨으로써 지리, 지형, 토양, 토지이용, 식생 등 기존의 공간자료와 중첩분석 및 통합관리가 가능하다. 따라서 타 공간자료와의 중첩 분석을 통해 주요 작물의 기상재해 위험도, 품질등급, 재배적부 등 획기적인 농업지대 기후구분이 가능하여 기상정보 활용도를 크게 높일 것으로 기대된다.

디지털 농업기후도의 활용이 가장 기대되는 분야는 기후변화의 농림업 영향평가 쪽이라고 할 수 있다. 현재까지 관찰된 기후변화 가운데 가장 뚜렷하며 앞으로도 그 변화경향을 가장 확실하게 예상할 수 있는 것은 기온 뿐이다. 한편 다양한 생태계 반응들 가운데 기온자료의 해석을 통해 가장 확실하게 알아낼 수 있는 것은 휴면해제, 출아, 개화 등 봄철의 생물계절(phenology)이다. 특히 우리나라와 같은 온대기후권에서 식물의 생식생장은 온도와 일장에 의해 조절된다. 이른 봄 수목의 새순이 돋아나는 시기는 주로 온도가 결정짓는데, 먼저 겨울동안의 저온이 내생휴면으로부터 식물이 깨어나도록 하며, 이어서 따스한 날씨가 출아와 개화를 유도한다. 출아기와 개화기 등 봄철 생물계절에 비해 낙엽이나 단풍 같은 가을철 생물계절은 기후변화에 둔감한 것으로 알려져 있다. 이러한 생물계절 반응의 지리적인 분포는 디지털 농업기후도에 의해 가시화되며, 향후 기후변화 대응전략 수립에 훌륭한 길잡이가 될 것이다.

본 과제를 통해 제작된 디지털 기후도는 토양전자지도, 수치지형정보, 농업기후 및 작물품질 예측모형 등과 중첩시켜 체계적인 적지판정기법 구현에 활용될 수 있다. 기후도는 과거에 관측된 기후자료에 근거한 것이지만, 동일한 기술을 기상실황에 적용하여 30m 해상도 혹은 필지단위로 전체 지역의 국지기상 실황이나 나아가 예보를 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 기상청에서 제공하는 동네예보의 공간해상도가 5km에 이르지만 지형이 복잡한 곳에서는 이마저도 미흡한 것이 사실이다. 소기후모형에 근거한 동네예보의 분해능 강화가 이루어진다면 농림업 뿐 아니라 시민생활에 미칠 파급효과가 상당할 것이다. 충분히 높은 공간해상도를 가진 기

상자료를 이용하면 지금까지 점 단위(포장 혹은 개체)로 적용되어 온 농업모형을 지역규모로 확장시켜 유역 내 임의지점의 구동결과는 물론 공간변이를 알 수 있다. 즉 유역관리 의사지원수단으로 각광받는 각종 생태계모형(토양, 수자원, 식생, 환경오염, 작황, 병해충 등)은 대부분 기상자료 입력에 의해 구동되는데, 그동안 기상의 공간변이를 무시하고 유역 대표값으로 처리하여 모의결과의 현실성이 낮았지만 격자형 기후자료의 상시공급에 의해 획기적인 개선이 기대된다.

제 6 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 실용화 계획

이번에 제작된 디지털 농업기후도는 우리나라 육상생태계를 사방 30m 크기의 정방형 격자로 나누어 각 격자점에서 자라고 있는 식물이 1971-2000 및 1981-2010 기간 중 겪은 소기후를 일 최고기온, 일 최저기온, 일사량, 강수량 등 4개 기본기후요소의 월별 평균값으로 표현하고 있다(단 강수량은 기술상의 문제로 사방 270m 격자). 이들 자료의 통계처리에 의해 농림업에 유용한 기후지수 다수를 생성하였으며 여기에는 일교차, 재현기간별 극최저기온, 기준온도에 따른 생장개시 및 종료일, 초상일 및 종상일, 기간별 적산 일사량 및 강수량이 포함된다. 격자점에 따라 ‘후지’ 사과, ‘신고’ 배, ‘장호원황도’ 복숭아 등 지역 특산물이 재배되고 있음을 고려하여 가용 작물모형에 소기후자료를 입력하고 장기간 구동함으로써 작물의 반응을 모의하고 그 결과를 역시 30m 해상도로 표현하였다. 디지털 농업기후도는 이미 (재)국가농림기상센터 홈페이지(<http://www.ncam.kr>)에서 조회 및 검색할 수 있다. 충남 예산 및 국립공원 지리산 지역에 대하여 전자기후도 기술을 이용하여 개발한 지역 맞춤형 농업기상예보시스템 역시 같은 홈페이지에서 서비스 되고 있다. 향후 여러 지방자치단체에서 유사한 시스템에 관심을 보일 것으로 기대되며, (재)국가농림기상센터를 통해 각 지역에 알맞은 시스템의 구축이 지속적으로 추진될 것이다.

표 6. 국가농림기상센터 홈페이지(<http://www.ncam.kr>)에서 검색 가능한 전자기후도 목록

Products for Climatological Normal Year (1971-2000, 1981-2010)		Unit	Cell Resolution (m)
Primary	Monthly averages of daily maximum temperature	0.1°C	30
	Monthly averages of daily minimum temperature	0.1°C	30
	Monthly averages of daily solar irradiance	0.01MJ/m ²	30
	Monthly sum of daily precipitation	mm	270
Secondary	Daily temperature range	0.1°C	30
	Start date of growth	DOY	30
	End date of growth	DOY	30
	Lowest minimum temperature	0.1°C	30
	Lowest possible temperature at 10 year return period	0.1°C	30
	Lowest possible temperature at 30 year return period	0.1°C	30
	Date of first frost	DOY	30
	Date of last frost	DOY	30
	Cumulative solar irradiance (spring)	0.01MJ/m ²	30
	Cumulative solar irradiance (summer)	0.01MJ/m ²	30
	Cumulative solar irradiance (fall)	0.01MJ/m ²	30
	Cumulative solar irradiance (winter)	0.01MJ/m ²	30
	Cumulative solar irradiance (annual)	0.01MJ/m ²	30
	Cumulative precipitation (spring)	mm	270
	Cumulative precipitation (summer)	mm	270
	Cumulative precipitation (fall)	mm	270
	Cumulative precipitation (winter)	mm	270
	Cumulative precipitation (annual)	mm	270
	Number of rain days	NOD	270
Analytical	Growing degree days	0.1°C	30
	Physiological maturity	DOY	30
	Budburst date	DOY	30
	Flowering date	DOY	30
	Endo-dormancy release date	DOY	30
	Forced dormancy release date	DOY	30
	Cold hardiness duration	NOD	30
	Dormancy depth	-	30
	Freezing risk	%	30

DOY: Day of year (1 for January 1, 365 for December 31)

NOD: Number of days

제 2 절 지식재산권 확보계획

1. 논문

연구종료일 현재까지 국내 학술지(학진 등재) 6편, 국제학술지(SCI) 1편이 게재되었으며, 향후 3편 정도의 논문을 더 국내 및 국제학술지에 투고할 계획이다.

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내 외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저 자	공동저 자				
2006	겨울기온 상승에 따른 낙엽과수의 휴면생태 변 화	정재은	윤진일	서희철, 정유란	한국농림기 상학회지	8(2)	국내	KCI
2007	한국농업의 구조개혁과 전자기후도사업	윤진일			한국농림기 상학회지	9(1)	국내	KCI
2008	제주도 초지피복 기생화 산(‘오름’)의 방위별 일 최고기온 분포	서희철	윤진일	전승종	한국농림기 상학회지	10(1)	국내	KCI
2008	월별 전자기후도를 이용 한 생장도일 분포도 제 작	김진희	윤진일		한국농림기 상학회지	10(1)	국내	KCI
2008	최저기온과 휴면심도 기반의 동해위험도를 활용한 ‘Campbell Early’ 포도의 내동성 지도 제작	정유란	윤진일	김수옥	한국농림기 상학회지	10(4)	국내	KCI
2009	Using urban effect corrected temperature data and a tree phenology model to project geographical shift of cherry flowering date in South Korea	정유란	윤진일	정재은 서희철	Climatic Change	92(4)	국외	SCI
2010	디지털 농업기후도 해설	윤진일			한국농림기 상학회지	12(1)	국내	KCI

2. 특허

연구종료일 현재까지 4건의 국내특허가 출원되었으며, 그 중 1건이 등록되었다.

출원 연도	특허명	출원인	출원 국	출원/등록번호
2008	표고편차를 고려한 국지기온의 추정방법 및 그 추정시스템	경희대 산학협력단	대한 민국	10-2008-0013499
2008	냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법	경희대 산학협력단	대한 민국	10-0925878 (등록)
2009	임의 경사면 상 일적산일사량 추정방법	경희대 산학협력단	대한 민국	0-2009-0026964
2009	미관측 경사면 상의 일 최고기온을 인근 기상대 자료로부터 추정하는 방법	경희대 산학협력단	대한 민국	10-2009-0034560

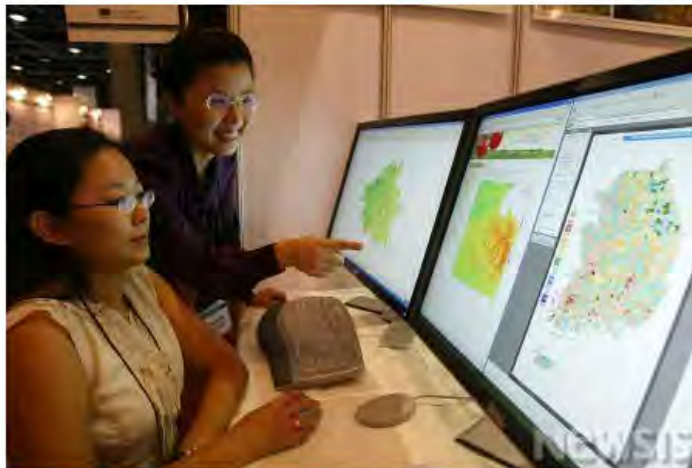
제 3 절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획

1. 농림과학기술대전(2006년 9월 27일-29일 및 2010년 6월 17일-19일, 서울 at센터)



전국의 기상분포를 한눈에 알수 있네!

[뉴스시스 2006-09-27 14:36]



【서울=뉴스시스】

27일 오전 서울 양재동 at센터에서 개막된 2006 농림과학기술대전의 한국농림기상학회 부스에서 농촌지역의 기후양상을 정밀하게 파악할 수 있는 디지털 생태기후도를 선보이고 있다. /허상욱기자 wook@newsis.com

2. 언론보도

2006년 11월 23일 한국일보 보도



hankook.com
한국일보
제주 5.0°C

정치 경제·재테크 사회 문화·연예 건강 라이프 스포츠 국제

최신기사·사건·사고·법원·검찰·경찰·교육·대학·환경·날씨·인권·복지·국방·노동·수도

한국마이닷컴 > 한국일보 > 사회

진해 벚꽃잔치 65년후면 끝?
경희대 정재은 교수 "온난화 영향 꽃 안필 수도"

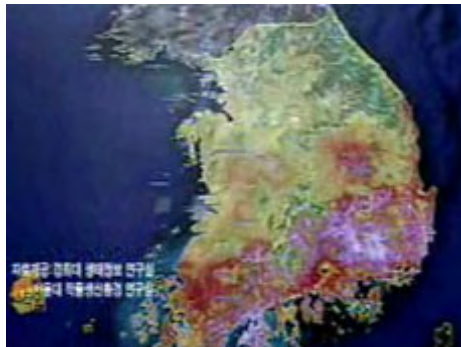
65년 뒤인 2071년에는 경남 진해의 벚꽃축제가 사라질지 모른다. 기후 온난화 때문이다.

정재은 경희대 생명과학부 교수 등은 22일 "2071~2100년엔 경남 해안지방에서 지속적으로 겨울이 따뜻해져 벚나무가 겨울잠(휴면)을 제대로 자지 못하는 바람에 봄에 벚꽃이 아예 피지 않거나 균일하지 않게 피 수 있다"며 "최악의 경우 65년 후엔 국내 최대의 벚꽃축제 지역으로 꼽히는 경남 해안지방에서 벚꽃이 아예 피지 않을 가능성이 크다"고 주장했다.

이들은 23일 제주 서귀포 KAL호텔에서 열리는 '기후변화 전문가 워크숍'에서 발표할 '2011~2100년 기간 중 벚꽃(광벚나무) 개화 예상일 전국분포' 논문을 소개했다.

2007년 2월 8일 KBS1 9시뉴스

“올 여름 폭염 속 호우·태풍 우려”



<앵커 멘트>

올해 우리나라는 예년 보다 기온이 0.5도 이상 높을 것으로 예측됐습니다.

집중 호우와 폭염 등 이상 기상 현상이 나타날 우려도 크다는 분석이 나왔습니다.

김민경 기자의 보도입니다.

<리포트>

영국 기상청은 지난 가을부터 시작된 엘니뇨 때문에 올해가 전 세계적으로 가장 더운 해가 될 것이라고 경고했습니다.

기상청은 우리나라 역시 올해 평균 기온이 예년 보다 0.5도 이상 올라 가겠다고 밝혔습니다.

<인터뷰>권원태(기상청 기후연구실) : “이산화탄소 농도가 매년 2 ppm 정도 상승하고 있는데, 이때문에 온도가 상승한 것으로..”

생태계 변화도 더욱 가속화돼 현재 4월에 피는 벚꽃이 50년 후쯤엔 남부 대부분지역에서 3월에 피고, 80년쯤 뒤엔 서울에서도 3월에 벚꽃을 볼 수 있게 됩니다.

또 따뜻한 겨울 탓에 일부 남해안 지역에선 벚꽃이 피지 않을 것으로 분석됐습니다.

KBS 뉴스 김민경입니다.

[기상뉴스] 김민경 기자


입력시간 : 2007.02.08 (21:09)

3. 지방자치단체 기상정보서비스에 전자기후도 사용

뉴스 정확도 최신훈 (검색어가 포함된 모든 기사를 시간순으로 보기)


경기도 **전자기후도** 제작..기온·강수량 한눈에 연합뉴스 경제 2010.01.13 (수) 오후 5:53

경기도 전역의 기온과 강수량을 한눈에 파악할 수 있는 **전자기후도**를 제작해 인터넷 홈페이지(www.epilove.com)를 통해 농민들에게 제공한다고 13일 밝혔다. **전자기후도**는 농업기술원에서 도내 논 및 과수원 33곳에 설치한...

네이버  [관련기사 보기](#)


경기도농업기술원 **전자기후도** 실시간 제공  파이낸셜뉴스 사회 2010.01.13 (수) 오후 8:52

떠오르는 가운데 미를 대응하기 위해 **전자기후도**를 제작, 인터넷 홈페이지를 통해 도민들에게 제공하고... 고도·석생 등을 고려한 입체적인 10년 단위 **전자기후도**를 제작해 왔다. 이와 함께 도농업기술원은 도 전역의...

네이버  [관련기사 보기](#)


농업기술원, 지구온난화 **전자기후도** 정보 제공 뉴시스 사회 2010.01.13 (수) 오전 9:51

경기도농업기술원은 13일 지구온난화에 대응한 **전자기후도**를 제작해 인터넷 홈페이지를 통해 도민들에게... 대비해 경기도 전역의 농업기상을 관측한 뒤 **전자기후도**를 IT와 GIS 기술을 융합해 컴퓨터...

네이버  [관련기사 보기](#)

농사 **전자기후도** 나온다  서울신문 사회 2009.03.12 (목) 오전 5:21

민간분야에서 진척되고 있다. 24절기를 대신해 새롭게 등장한 **전자기후도**가 대표적인 예다. 내년 4월 완성을 앞두고 있는 **전자기후도**는 구체적인 영농 방법과 작물의 최적지 등을 알려주는 일종의 지도로....

네이버  [관련기사 보기](#)

도 농기원 '기후변화 **전자지도**' 홈페이지  경인일보 경제 2010.01.14 (목) 오전 0:45

검색이 가능한 것이 특징이다. 도 농기원은 그동안 기후변화에 대비, 도 전역의 농업기상을 관측한 뒤 **전자기후도**를 IT와 GIS 기술을 융합, 컴퓨터 프로그램상에서 실시간으로 제작 분석할 수 있는 기술을 개발하는데...

[관련기사 보기](#)

4. 자체홍보



INVITATION

전자기후도사업 완료기념 국제 세미나

International Seminar to Celebrate
Completion of the High-Definition Digital Climate Mapping Project

세미나 주제: "기후변화 적응을 위한 국제전략과 농림기상분야의 신기술 활용"

Theme of Seminar: Global Strategies for Adaptation to Changing Climate, and Technological Advances in Agrometeorological Applications

일시: 2010년 4월 23일(금) 14:00 - 18:00
 장소: 서울대학교 농생명과학연구소 (대학강의실 및 로비 (203동101호))
 주최: (사)한국농림기상학회
 주관: (재)국가농림기상센터
 후원: 농림수산식품부, 농림수산기술기획평가원

모시는 글

지난 4년간 농림수산식품부 농림기술개발사업(IPET) 지원 하에 한국농림기상학회에서 수행한 "전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템" 과제가 성공적으로 마무리되었습니다. 과제의 주요 결과물인 고해상도 디지털 농업기후도(일명 '전자기후도')는 농작물과 수목의 생육에 직접 영향을 미치는 소기후정보를 담고 있으며, 기존 일사량-강수량 같은 기본요소는 물론 다양한 등용기후자수와 생태반응전망까지, 좌표값이 내장된 규칙적인 격자점 속성으로 표현합니다. 이번에 공개하는 전자기후도는 제주도를 포함한 남한 전역을 대상으로 1971-2000 및 1981-2008 기간의 월별 평균값을 30m (간수량은 270m) 해상도로 보여줌에 국가농림기상센터 홈페이지(www.ncam.kr)에서 누구나 쉽게 조회하고 자료를 받으실 수 있습니다. 다른 공간정보와의 중첩분석이 가능한 전자기후도의 특성은 육상생태계의 기후변화 영향평가 및 취약성 분석에 유용한 수단이 되게 합니다. 향후 기후변화에 대응한 농림기상분야의 전략수립에 전자기후도와 같은 신기술 활용이 필요함을 인식하여 관련 전문가들을 모시고 국제세미나를 개최하오니 부디 참석하시어 자리를 빛내 주시기 바랍니다.

한국농림기상학회 회장 정영삼 서울대 농생명과학/국가농림기상센터장 박은우

행사일정

시간	프로그램 내용	진행
13:30-14:30	등록	한국농림기상학회 본부
14:30-15:00	개회식	사회: 권효정 박사
	환영사	박은우 서울대 농생명대학장
	축사	정영삼 한국농림기상학회장
15:00-15:10	기념촬영	
	주제 발표 (presentation)	
15:10-15:50	1. Climate change/extremes and impacts on agriculture, including adaptation	Dr. Ray Motha (USDA/JAWF, USA)
15:50-16:30	2. New technologies and renewable energy in EU rural areas: tools for a sustainable high-quality agricultural production, environment preservation, rural development	Dr. Federica Rossi (NRFC/IRMA, Italy)
16:30-17:00	전시 관람 (Exhibition)	전자기후도 연구팀
17:00-17:30	3. National strategies to advance agrometeorological service under climate change & variability through joint collaborations	Dr. Byong-Lyul LEE (SNLJNCAM, Korea)
17:30-18:00	Open Discussion	Dr. Byong-Lyul LEE (SNLJNCAM, Korea)
18:00-	폐회 (Closing)	

오시는 길



서울대입구역
2호선 3번출구, 5513번 버스 이용, 농생명(200동) 앞 하차, (203동-후방 100m)

낙성대역
2호선 4번 출구, LG주유소에서 좌회전, 제과점 및 장류점에서 50번 마을버스, 후문 앞거리에서 5518, 5511번 버스로 환승, 농생명(200동) 앞 하차, (203동-전방 100m 반전)

신림역
2호선 3번 출구, 2000터 앞 정류장 ~501번, 농생명(200동) 앞 하차, 203동은 후방 100m에

제 4 절 추가연구, 타연구에 활용 계획

1. ‘혼합현실 기반의 영농시뮬레이터 개발’ 후속연구

전자기후도에 토양전자지도²⁾ 및 작물모형 기술을 결합하여 정책결정자, 연구자, 농민들에게 실제영농에 앞서 기후변화 등 다양한 조건에서의 가상영농 체험공간을 제공함으로써 필지(농장)별 최적 품종, 작부체계, 비배관리, 판매유통 및 예상이익 등 농업경영 의사지원 정보를 쉽게 획득할 수 있도록 하는 것이 후속연구의 목적이다.

최근 30년 동안 산업, 국방, 항공 등 여러 분야에서 모의실험장치(시뮬레이터)를 개발하여 실제상황에 대비한 훈련, 예측, 평가에 활용해온 반면, 농업분야의 영농시뮬레이션기술은 답보상태이다. 농림생태계는 토양과 식물은 물론 기후, 병해충, 잡초, 수자원 등 구성요소들이 밀접하게 결합된 전형적인 복잡계로서 영농기술(품종, 비배관리)의 변경은 물론 환경요소 일부의 변동이 전체 생태계에 영향을 미칠 수 있고 그 결과는 오랜 시간 이후에 알게 된다. 기후변화의 시대에 적지적작에 의한 농업의 지속가능성 확보 및 생태계관리의 최적화를 위해서는 영농기술의 현장투입 전 영향평가와 예측을 위한 도구로서 작물, 토양, 기후, 생물환경 관련 지식을 융합시킨 농업모형의 연구와, 사용자가 이를 쉽게 활용할 수 있도록 구현한 영농시뮬레이터 필요성이 대두되고 있다.

연구의 기초단계로서 작물, 토양, 병해충, 잡초 등 다양한 규모와 수준에서의 예측모형 확보 및 국내 실험자료에 근거한 종/품종별 최적모수 추정이 필요하다. 응용단계에는 모형의 필지단위 구동을 위한 정밀 기후, 토양 입력자료 구축 및 갱신, 국가표준 기후시나리오조건에서 입력자료 요소별 변화의 정량화, 다양한 처리조건(환경, 재배법, 작부 등)에서의 종합적 영향평가용 작부체계모형이 개발되어야 한다. 실용화단계에는 일정 규모 이상 전국의 가경농지에 대하여 현재조건에서의 영농실태(작목, 품종), 잠재생산력/품질 대비 현 수준 분석, 도입가능 작목(품종)의 잠재생산력/품질 추정, 병해충 잡초 동태 파악, 2100년까지 새로운 기후조건에서의 10년 단위 변화량 예측, 예측결과에 근거하여 농민들의 영농의사결정 및 실행을 지원할 수 있는 실용정보와 재배기술이 제시될 수 있을 것이다. 여기에는 기존작목의 품종변경,

2) 농촌진흥청에서 개발하여 현재 운영중 (asis.rda.go.kr)

기존 품종의 작부방식 변경, 작부체계 수정, 작목 변경, 토지용도 변경 등이 포함된다. 보급단계에는 실용화단계에서 개발된 시스템에 과거 기후자료 대신 실황 및 예측기상자료를 입력할 수 있도록 개선하고, 혼합현실기법과 3-D 인터넷 등 첨단 IT와 접목시킴으로써 폭넓은 연령층의 활용을 도모해야 한다. 예컨대 GPS 내장형 스마트폰에서 영농시물레이터를 구동하는 것이 가능할 것이다.

이 사업을 통해 국가농업정책 수립을 위한 기본자료는 물론, 지역별 적응작목 및 품종정보, 필지별 최적 비배관리정보를 제공함으로써 가장 효율적인 기후변화 적응체계가 조기에 구축될 수 있다. 전자기후도 기반의 영농시물레이터는 정밀진단농업 실용화 및 영농로봇 개발 등 선진국을 능가하는 차세대 농업기술 창출의 교두보 역할을 할 것으로 기대된다. 특히 게임기 형태의 영농시물레이터 상용화는 청소년, 청소년 등 미래세대에게 농업과 농촌에 대한 관심을 유발함으로써 건전한 농촌문화 발전의 초석이 될 것이다.

2. 타 연구에의 활용

본 과제를 통해 확립된 전자기후도 제작기술은 이미 기상청의 기상지진기술개발사업단 및 기후과학연구사업단의 기후변화시나리오 상세화기술 등 다수 과제에 적용되고있으며, 전자정부지원사업의 기상정보 공동활용과제에 적용될 예정이다. 전자기후도 자체는 (재)국가농림기상센터를 통해 농업, 산림, 수자원, 환경 등 다양한 분야의 수요자(주로 연구자)에게 배포되어 활용될 것이다.

제 7 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

없음

제 8 장 참고문헌

Choi, J., U. Chung, and J. I. Yun, 2003: Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea. *Journal of Applied Meteorology* **91**, 161-176.

Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**, 15-24.

Chung, U., and J. I. Yun, 2008: A prospect on the changes in short-term cold hardiness in “Campbell Early” grapevine under the future warmer winter in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 94-101.

Chung, U., J. H. Kim, S. O. Kim, H. C. Seo, and J. I. Yun, 2009: Geospatial assessment of frost and freeze risk in 'Changhowon Hwangdo' peach (*Prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in South Korea: III. Identifying freeze risk zones in the future using high-definition climate scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 221-232.

Daly, C., R. P. Neilson, and D. L. Phillips, 1994: A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, *Journal of Applied Meteorology* **33**, 140-158.

Gates, D. M., 1980: *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York.

Jo, D. K., I. S. Chun, and T. K. Lee, 2000: A study on accuracy evaluation of horizontal global radiation data in Korea. *Korea Institute of Energy Research*, **20**, 31-43.

- Jung, J. E., U. Chung, J. I. Yun, and D. K. Choi, 2004: The observed change in interannual variations of January minimum temperature between 1951-1980 and 1971-2000 in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 235-241.
- Jung, J. E., and J. I. Yun, 2006: Phenology and minimum temperature as dual determinants of late frost risk at vineyards. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 28-35.
- Kim, J. H., and J. I. Yun, 2008: On mapping growing degree-days (GDD) from monthly digital climatic surfaces for South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 1-8.
- Kim, J. H., S. O. Kim, U. Chung, K. H. Hwang, J. B. Kim, I. K. Yoon, and J. I. Yun, 2009a: Geospatial assessment of frost and freeze risk in 'Changhowon Hwangdo' peach (*Prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in South Korea II. Freezing risk index based on dormancy depth as a proxy for physiological tolerance to freezing temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 213-220.
- Kim, S. O., U. Chung, S. H. Kim, I. M. Choi, and J. I. Yun, 2009b: The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 162-173.
- Kondratyev, K. Y., and M. P. Federova, 1977: *Radiation Regime of Inclined Slopes*. WMO Technical Note No. 152.
- Kwon, E. Y., J. E. Jung, U. Chung, S. J. Lee, G. C. Song, D. G. Choi, and J. I. Yun,

2006: A thermal time-driven dormancy index as a complementary criterion for grape vine freeze risk evaluation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 1-9.

Regniere, J., B. Cooke, and V. Bergeron, 1996: *BioSIM: A Computer-Based Decision Support Tool for Seasonal Planning of Pest Management Activities. User's Manual*. Canadian Forest Service Info. Rep. LAU-X-116. 50pp.

Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *J. Agricultural Meteorology (Japan)* **48**, 379-383.

한국기상학회, 2006: 격자 MOS개발 기반조성을 위한 지리기후자료 생산, 기상청 용역연구 “디지털예보자료처리기술개발” 최종보고서. 152p.

연구결과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 일반과제 <input checked="" type="checkbox"/> 기획과제	분 야	융복합
연구과제명	전자기후도 기반 유역 단위 농업기상예보시스템		
주관연구기관	경희대학교	주관연구책임자	윤진일
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금 총연구개발비
	1,000,000,000		1,000,000,000
연구개발기간	2006. 4. 25. ~ 2010. 4. 24.		
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 남한 전역에 대해 1971-2000 평년의 해상도 30m급의 격자형 디지털기후도 제작	1971-2000 뿐 아니라 1981-2010 평년의 월별 기온, 일사, 강수량 기후도를 제작하였음. 이를 근거로 농업기후지수 및 식물생태반응지도를 30m ~ 270m 해상도로 남한 전역에 대해 생성함
② 유역 맞춤형 농업기상예보시스템 구축	기상청 동네예보에 전자기후도 기술을 적용하여 30m 해상도의 실황기후도를 제작하여 농업모형에 입력하는 과정을 개발함. 충남 예산 및 국립공원 지리산지역을 대상으로 시범서비스 구축

3. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	기후학적 평년의 30m 분해능 기온, 일사수광량 전국 분포도
②	지리공간정보를 이용한 복잡지형 상 강수량 추정
③	소기후모형을 이용한 실황기후 상세화

4. 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)	현장에로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술	√					√				√
②의 기술					√	√				√
③의 기술		√								√

* 각 해당란에 √ 표시

5. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	(재)국가농림기상센터에 서비스시스템 구축하여 현업화
②의 기술	(재)국가농림기상센터에 서비스시스템 구축하여 현업화
③의 기술	(재)국가농림기상센터에 시범서비스 구현

6. 연구결과물의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기	
기술이전시 선행조건			

* 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성

* 기술이전시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

* 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등

자체평가 의견서

연구개발분야	융복합	과제구분	<input type="checkbox"/> 일반과제 <input checked="" type="checkbox"/> 기획과제	관리번호	306003-04
연구과제명	전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템				
주관연구기관	경희대학교				
연구담당자	주관연구책임자	윤진일			
	협동/위탁/세부 연구책임자	기관(부서)	한국농림수산정보센터 (농업인재개발원)	성명	김기주
		기관(부서)	한국농림기상학회 (연구개발팀)	성명	정유란
		기관(부서)	경희대학교 (식물환경신소재공학과)	성명	윤진일
		기관(부서)		성명	
연구기간	총기간	2006. 4. 25 ~ 2010. 4. 24	당해년도기간	2009. 4. 25 ~ 2010. 4. 24	
연구비(천원)	총규모	1,000,000	당해년도규모	250,000	

1. 연구는 당초계획대로 진행되었는가?

당초계획 이상으로 진행
 계획대로 진행
 계획대로 진행되지 못함

계획대로 수행되지 않은 원인은?

2. 당초 예상했던 성과는 얻었는가?

예상외 성과 얻음
 어느 정도 얻음
 얻지 못함

6. 연구개발착수이후 국내 다른 기관에서 유사한 기술이 개발되거나 또는 기술 도입함으로 연구의 필요성을 감소시킨 경우가 있습니까?

- 없다 약간 감소되었다 크게 감소되었다

감소되었을 경우 구체적인 원인을 기술하여 주십시오?

7. 관련된 기술의 발전속도나 추세를 감안할 때 연구계획을 조정할 필요가 있다고 생각하십니까?

- 없다 약간 조정필요 전반적인 조정필요

8. 연구과정에서의 애로 및 건의사항은?

(※ 아래사항은 기업참여시 기업대표가 기록하십시오)

1. 연구개발 목표의 달성도는?

- 만족 보통 미흡
(근거 : _____)

2. 참여기업 입장에서 본 본과제의 기술성, 시장성, 경제성에 대한 의견

가. 연구성과가 참여기업의 기술력 향상에 도움이 되었는가?

- 충분 보통 불충분

나. 연구성과가 기업의 시장성 및 경제성에 도움이 되었는가?

- 충분 보통 불충분

3. 연구개발 계속참여여부 및 향후 추진계획은?

가. 연구수행과정은 기업의 요청을 충분히 반영하였는가?

충분 보통 불충분

나. 향후 계속 참여 의사는?

충분 고려 중 중단

다. 계속 참여 혹은 고려중인 경우 연구개발비의 투자규모(전년도 대비)는?

확대 동일 축소

4. 연구개발결과의 상품화(기업화) 여부는?

즉시 기업화 가능 수년 내 기업화 가능 기업화 불가능

5. 기업화가 불가능한 경우 그 이유는?

구 분	소 속 기 관	직 위	성 명
주관연구책임자	경희대학교	교수	윤진일 (인)
참여기업대표			(인)



연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템				
	(영문) Digital Climate Modeling for Agrometeorological Forecasting at Watershed Scale				
주 관 연구 기관	경희대학교		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 경희대학교 식물환경신소재공학과	
참 여 기 업	(재)한국농림수산정보센터			(성명) 윤진일	
총 연구개발비 (1,000 천원)	계	1,000	총 연 구 기 간	2006. 4. ~ 2010. 4. (4년 월)	
	정부출연 연구개발비	1,000	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	123
	기업부담금	0		내부인원	24
	연구기관부담금	0		외부인원	99

○ 연구개발 목표 및 내용

- 남한 전역에 대하여 해상도 30m급의 격자형 디지털기후도를 제작하고, 이를 근거로 유역 맞춤형(watershed-specific) 농업기상예보시스템을 구축하는 것을 목표로 함
- 기상청 56개 관측지점의 1971-2000 및 1981-2010 종관기후자료(기온, 일사량, 강수량)를 기반으로 하여, 검증된 소기후모형에 의해 남한 840개 표준유역 단위로 월별 평균값 전자기후도를 제작하고 다양한 방법으로 자료의 신뢰성을 검증함
- 이를 토대로 각 유역의 농업기후지수와 식물생태반응을 고해상도 공간정보 데이터베이스로 구축하고, 사용자 교육 및 훈련프로그램을 운영함

○ 연구결과

- 1971~2000 및 1981~2010 평년의 월별 기온, 일사, 강수 등 전국의 기후자원을 지적도 상의 필지단위(30m ~ 270m 해상도)로 정밀하게 파악할 수 있는 고해상도 디지털 기후자료 세트 제작
- 이를 토대로 필지별 작물 및 수목의 기후반응을 예측할 수 있는 생태반응지도 생산
- 사용자가 웹상에서 검색하고 필요한 부분을 다운받을 수 있는 전자기후도 제공시스템 구축
- 전자기후도 제작기술 일부를 기상청 ‘동네예보’에 적용함으로써 시공간적으로 해상도를 높인 농업모형 입력자료 생성기술 확보
- 충남 예산과 국립공원 지리산지역을 대상으로 병해충예찰, 생물계절, 작황 및 품질예측정보를 생산하고 그 결과를 30m 격자 형태로 실시간 제공하는 농업기상예보시스템 구축
- 잠재적인 전자기후도 사용자계층에 대해 체계적인 교육을 실시하였고, 일반 시민을 대상으로 과제홍보를 위해 공개강좌를 개설

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 디지털 농업기후도 및 관련기술은 (재)국가농림기상센터로 이전되어 사용자에게 서비스 중
- 국내 최대 농업정보포털인 (재)한국농림수산정보센터는 메인서버의 미러사이트 기능을 수행함으로써 보다 많은 사용자들에게 전자기후도 접근기회를 제공함

농림기술개발과제 핵심연구성과 요약

고해상도 디지털 농업기후도(전자기후도)			
주관연구기관 (주관연구책임자)	경희대학교 (윤진일)	참여기업 (대 표)	
<p>③ 기존의 농업기후 구분에 쓰이는 자료는 기상청에서 제공하는 종관기후 자료인데 그나마 인구밀도가 높은 도시지역과 해안 평야지에 편중되어 있어 농경지나 산지의 국지기후에 대한 정확한 정보가 제공되지 않았음</p> <p>④ 듬성듬성한 종관기후자료에 국지적인 지형, 고도, 도시열섬효과, 바다의 영향 등을 추가함으로써 남한 전역에 대한 30m 해상도의 초정밀 국지기후도 제작에 성공하여 보다 정확하고 세밀한 농업기후 자료를 제공할 수 있게 되었음</p> <p>⑤ 전자기후도는 사방 30m 간격의 격자점 평년기후를 기온, 일사, 강수, 농업기후지수, 영농활용정보로 표현하여 지리좌표와 함께 제공되므로 토양전자지도, 지적도 등 다른 지리정보와 쉽게 중첩하여 분석할 수 있음. 한번 심으면 10년 이상 교체할 수 없는 과수 등 영년생 작목의 재배적지 선택에 유용할 것임. 전자기후도 정보는 (재)국가농림기상센터 홈페이지(www.ncam.kr)를 통해 시범 제공되고 있음</p> <p>⑥ 종관기후자료: 표준기상관측소에서 관측한 자료를 평균 낸 기후자료로서 농사에 유용한 30년 이상 장기 관측자료를 보유한 기상대는 전국적으로 50~60개에 불과하여 정확도가 떨어짐 평년기후: 최근 30년 동안 관측된 날씨의 산술 평균을 의미함. 세계기상기구에서 30년(1971~2000년, 1981~2010년) 평균값으로 지정하고 있음</p> <p>⑦ <붙임> 제목 : 전자기후도 소개 브로셔</p>			

전지구후도 관련 원천기술

- (주요)
- ① 중국, Li, J., Sun, 2003. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of spatially interrelated extreme weather, Agricultural and Forest Meteorology 116, 171-181.
 - ② 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ③ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ④ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ⑤ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ⑥ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ⑦ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.
 - ⑧ 중국, Li, J., Sun, 2004. Spatio-temporal correlation in extreme frequency of hourly air temperature in complex terrain, Agricultural and Forest Meteorology 126, 171-181.

구분	기술명	기술내용
기후정보	경지정보	농지, 임지, 사막지, 건조지, 강수량, 강도, 강수량
	농지정보	경지, 임지, 사막지, 건조지, 강수량, 강도, 강수량
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
	국립생태공원	생태공원
국립생태공원	생태공원	

한국농업기술학회
 111-883-0000
 www.knab.org

Digital Climate Mapping for Agriculture and Natural Resource Management

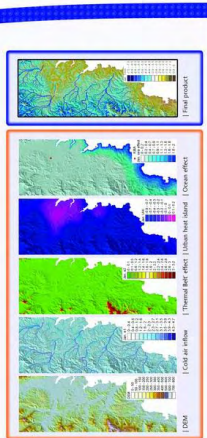


고해상도 디지털 농업기후도
 - 전지구후도 기반 농업현황의 농업기후정보시스템(1961-1999)의 성과물임.

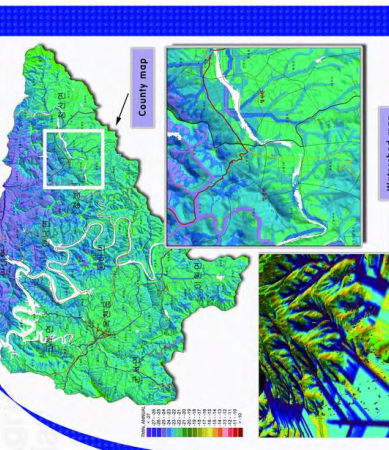
전지구후도란?



High Definition Digital Climate Maps
 Agrometeorological analyses and practices at local levels frequently require weather and climate information at a finer spatial resolution than is available from global climate data sets. High Definition Digital Climate Maps (HD-CM) is a novel product that can now provide climate data at 30m grids at high resolution. The first step in producing HD-CM is to prepare the background data by spatially interpolating the point observations to a 30m grid. This is done by using the inverse distance weighting method. The second step is to combine the background data with the high resolution satellite data to produce the final HD-CM. The final product is a set of maps showing the spatial distribution of climate variables at a 30m grid. The maps are produced for each month and for each year from 1971 to 2000. The maps are produced for each month and for each year from 1971 to 2000. The maps are produced for each month and for each year from 1971 to 2000.



Lowest air temperatures in 30 years (1971-2000)



Lowest air temperatures in 30 years (1971-2000)

