

농업기상 조기경보시스템 설계

윤진일*
경희대학교

Agrometeorological Early Warning System: A Service Infrastructure for Climate-Smart Agriculture

Jin I. Yun*

College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

Abstract

Increased frequency of climate extremes is another face of climate change confronted by humans, resulting in catastrophic losses in agriculture. While climate extremes take place on many scales, impacts are experienced locally and mitigation tools are a function of local conditions. To address this, agrometeorological early warning systems must be place and location based, incorporating the climate, crop and land attributes at the appropriate scale. Existing services often lack site-specific information on adverse weather and countermeasures relevant to farming activities. Warnings on chronic long term effects of adverse weather or combined effects of two or more weather elements are seldom provided, either. This lecture discusses a field-specific early warning system implemented on a catchment scale agrometeorological service, by which volunteer farmers are provided with face-to-face disaster warnings along with relevant countermeasures. The products are based on core techniques such as scaling down of weather information to a field level and the crop specific risk assessment. Likelihood of a disaster is evaluated by the relative position of current risk on the standardized normal distribution from climatological normal year prepared for 840 catchments in South Korea. A validation study has begun with a 4-year plan for implementing an operational service in Seomjin River Basin, which accommodates over 60,000 farms and orchards. Diverse experiences obtained through this study will certainly be useful in planning and developing the nation-wide disaster early warning system for agricultural sector.

Key Words: Early warning system, Climate extremes, Agrometeorological service, Weather hazard, Climate-smart agriculture

* Correspondence to : jiyun@khu.ac.kr

I. 농업기상 조기경보체계

1.1 조기경보체계란

지구상에 출현한 이래 인류는 숱한 재난에 시달려 왔으며 고도의 문명을 자랑하는 21세기도 재난에 대한 두려움은 소멸되지 않았다. 오히려 기후변화와 기상이변은 위험기상(weather hazard)의 빈발과 그에 따른 자연재해(natural disaster)의 증가를 가져와 인류사회 전체에 심각한 문제가 되고 있다. 이에 따라 각국 정부에서는 우리나라의 소방방재청 같은 조직을 상시운영하고 있으며, 국제연합에서는 UNISDR (UN International Strategy for Disaster Reduction)를 설립하여 재해경감을 위한 정부 간의 협력을 유도하고 있다.

재해관리는 위기관리와 위험관리로 나눌 수 있는데, 태풍이나 호우 같은 위험기상은 어차피 피할 수 있는 것이 아니므로 과거에는 재해의 사후분석과 복구로 구성된 위기관리 중심이었다. 이에 반해 위험관리는 예측과 준비를 통해 예방(보호)하는 데 중점을 둔다(Wilhite *et al.*, 2000). UNISDR는 2005년부터 2015년까지 추진할 실행기본계획(Framework for Action)을 채택하였는데, 예전과 달리 그 초점이 예방과 준비(prevention and preparedness)에 있으며, 이를 달성하는 데는 위험가능성을 포착하고 정량화(identification and quantification of potential risks) 하는 기술, 즉 조기경보체계(early warning system) 개발이 필요하다고 강조하였다.

위험기상의 발생을 막거나 이를 피할 수 있는 현실적 방법이 없음을 우리는 잘 알고 있다. 하지만 위험기상이 모두 재해로 귀결되는 것은 아니라는 사실은 덜 알려져 있다. 재해발생 여부나 그 규모는 위험기상의 발생확률과 강도뿐 아니라 위험에 노출된 대상(공동체, 식물군락 등)의 취약성에 의해 결정된다. 조기경보체계는 이 취약성을 보완해주는 강력한 도구이며, 이미 여러 나라 정부에서는 도시, 농업, 산림 등 목적에 맞는 조기경보체계를 개발하고 이를 기반으로 한 현업서비스를 제공하고 있다 (WMO, 2010).

1.2 식량부족 조기경보

농업부문의 조기경보체계는 근년의 기후변화가 아니라 70년대 초의 세계적인 식량위기에 대응하기 위해 1975년에 유엔 식량농업기구(FAO)가 설립한 GIEWS (Global Information and Early Warning System)가 효시라 할 수 있다. GIEWS는 117개국의 정부, 60개 NGO, 기업체, 연구기관 등을 망라한 네트워크를 통해 식량수급에 관련된 방대한 자료와 정보를 수집하고 이를 토대로 식량부족이 예상되는 국가나 지역에 조기경보를 제공한다. 궁극적인 목표는 전지구, 대륙, 국가, 지역 등 다양한 공간규모에서 식량의 수요와 공급에 관한 정확한 정보를 수집하여 필요한 시기에 해당 정책결정자에게 전달함으로써 기아로 인한 고통을 피하자는 것이다. 1995년 북한의 기근을 사전에 경고한 것이 이 시스템의 대표적 성과 가운데 하나로 꼽힌다 (<http://www.fao.org/GIEWS/>).

유사한 조기경보체계로 1985년 미국 국제개발청(USAID)이 국무부(USDS)와 함께 설립한 ‘기근 조기경보체계’ FEWS (the Famine Early Warning Systems Network, www.fews.net)가 있는데,

어떤 지역이나 국가의 식량 수급상황을 예측하여 식량부족이 예상될 때는 미리 대비할 수 있도록 최소 6개월 전에 경보를 발령한다. 오늘날 정부, 국제구호단체, NGO, 언론사, 연구기관 등 인도적인 위기에 대하여 반응하고, 보고하며 계획을 수립하는 다양한 수요자에게 없어서는 안 될 정보자원이 되고 있다.

1.3 농업기상 조기경보의 필요성

식량문제는 기후와 불가분의 관계에 있으므로 기후와 농업기상 예측은 이들 조기경보체계의 핵심적인 요소인데, 기후변화와 그 영향이 가시화됨에 따라 중요성이 더욱 커지고 있다. 기후변화는 익히 알고 있는 온난화와 함께 과거에는 흔치 않았던 기상이변이 더 자주, 더 큰 폭으로 발생한다는 데 문제의 심각성이 있다. 기상이변은 해당지역의 식량생산을 비롯한 모든 농업활동에 있어서 기상으로 인한 재해 가능성을 증가시키므로 기상위험을 얼마나 일찍 감지하여 농가에 알려주느냐에 따라 재해 발생여부 및 피해규모가 크게 달라진다. 더 나은 의사결정을 통해 경제가치를 창출한다는 점에서 조기경보체계는 기후변화 대응 인프라로서 단기적으로는 투자 우선순위가 가장 높다 할 것이다.

하지만 정보의 가치는 조기경보에 근거한 시의적절한 대응이 피해경감에 얼마나 기여하느냐에 달려있으므로 (Roberts *et al.*, 2009), 조기경보체계의 설치 및 운영을 계획한다면 서비스 대상 농가에서 실행 가능한 대응방안이 있는지 반드시 확인해야 한다. 기후변화는 다양한 공간규모에 걸쳐 일어나지만 그 영향을 경험하는 것은 논, 밭, 과원 등 오로지 국지적인 규모에서만 가능하다. 기후변화 및 기상이변에 대비한 조기경보체계는 앞서 언급된 세계적인 규모와는 달리 국지적인 규모로 그 적용공간이 제한되어야 농가수준의 대응이 가능하다. 반드시 ‘위치와 장소’를 기반으로 그곳의 기후, 환경, 사회 등 영농 관련 속성정보를 바탕으로 할 때 재해경감에 도움이 될 수 있는 것이다. 그렇다면 현재 우리나라의 조기경보수준은 어떤가.

현재 기상청에서는 최신 관측 및 예측기술에 의해 중규모 위험기상을 미리 감지하여 시, 군, 구 공간단위의 기상특보를 발령하고 있다(Table 1). 한편 농식품부와 농촌진흥청에서는 특보발령 지역 농가의 작목별 관리지침을 방송이나 인터넷을 통해 전파한다. 시군구를 단위로 하는 이러한 서비스는 수요자 입장에서 볼 때 같은 시군구 내에서 기상위험이 동일한 정도로 표현되며 실제 다양한 영농현장(위치, 장소)에 대한 구체적 위험을 알려주지 않는다는 단점이 있다. 주어진 위험기상이 지역 내 모든 필지, 작목과 품종, 생육단계에 동일하게 작용하지 않음은 상식이며, 사전경보에 따라 대응조치를 취할 때 개별 농가의 상황(품종, 생육단계, 관리기술 등)을 충분히 고려한 관리지침이 필요하지만 현재 시스템에서는 전혀 고려되지 않고 있다. 덧붙여 기존의 기상특보는 가뭄해나 냉해와 같이 장기간에 걸친 누적효과에 의해 발생하는 ‘지발재해’(chronic damage)나 둘 이상의 기상요소가 동시에 작용하는 ‘복합재해’(combined damage)에 대한 고려는 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 최근 ‘농가맞춤형 기상위험관리기술’이 제시되어 소규모 집수역을 대상으로 실증실험을 마쳤다(Yun *et al.*, 2013). 이 기술의 핵심은 동일 시군구 내 위치와 장소(필지)에 따른 고도, 지형, 지표피복 등 국지공간특성에 맞게 기상청의 각종 정보

(기상실황, 동네예보, 중기예보)를 상세화 한 것이다. 나아가 필지별로 재배중인 작물의 속성(작목-품종, 발육단계)을 미리 파악하여, 상세화된 기상정보에 의해 알려진 위험기상이 실제 어떤 피해를 입힐 것인지 농업기상학적 위험지수로 표현한 것이다. 이들 정보는 등록된 휴대폰을 통해 해당농가에게 개별적으로 전달되는데, 이때 위험회피 및 경감을 위해 이 농가에서 쓸 수 있는 관리대책도 함께 전달된다.

Table 1. Definitions and threshold values for weather advisories and warnings issued by Korea Meteorological Administration (from <http://www.kma.go.kr>)

종류	주의보	경보
강풍	육상에서 풍속 14m/s 이상 또는 순간풍속 20m/s 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 17m/s 이상 또는 순간풍속 25m/s 이상이 예상될 때	육상에서 풍속 21m/s 이상 또는 순간풍속 26m/s 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 24m/s 이상 또는 순간풍속 30m/s 이상이 예상될 때
풍랑	해상에서 풍속 14m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3m 이상이 예상될 때	해상에서 풍속 21m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 5m 이상이 예상될 때
호우	6시간 강우량이 70mm이상 예상되거나 12시간 강우량이 110mm이상 예상될 때	6시간 강우량이 110mm이상 예상되거나 12시간 강우량이 180mm이상 예상될 때
대설	24시간 신적설이 5cm이상 예상될 때	24시간 신적설이 20cm이상 예상될 때. 다만, 산지는 24시간 신적설이 30cm이상 예상될 때.
건조	실효습도 35%이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때	실효습도 25% 이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때
폭풍해일	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정
지진해일	한반도 주변해역(21N~45N, 110E~145E)등에서 규모 7.0 이상의 해저지진이 발생하여 우리나라 해안가에 해일파고 0.5~1.0m 미만의 지진해일 내습이 예상될 때	한반도 주변해역(21N~45N, 110E~145E)등에서 규모 7.0 이상의 해저지진이 발생하여 우리나라 해안가에 해일파고 1.0m 이상의 지진해일 내습이 예상될 때
한파	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때
태풍	태풍으로 인하여 강풍, 풍랑, 호우, 폭풍해일 현상 등이 주의보 기준에 도달할 것으로 예상될 때	태풍으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 강풍(또는 풍랑) 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때 ② 총 강우량이 200mm이상 예상될 때 ③ 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때
황사	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 400 μ g/m ³ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 800 μ g/m ³ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때
폭염	6월~9월에 일최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때	6월~9월에 일최고기온 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때

이 기술을 채택한 재해 조기경보체계를 일정 규모 이상의 농업지역에 구축하여 시범적으로 서비스를 제공하려는 산학연 공동연구과제가 농촌진흥청 지원으로 2014년부터 시작되었다. 이 과제는 다양한 전공분야에서 많은 연구원이 참여하게 되므로 성공여부는 세부과제 간 유기적인 연결과 다양한 기술들의 융합에 달려있으며, 이를 위해 참여연구원 상호간 긴밀한 의사소통이 매우 중요하다. 본 강좌에서는 이 과제의 개요와 세부내용, 추진전략 등을 소개함으로써 참여연구원은 물론 이 과제와 관련된 전문가들 사이의 소통을 돕고자 한다.

II. 농업기상 조기경보체계 설계 개념

기존의 조기경보체계 개선에 참고해야 할 사항으로서 Gunasekera(2004)는 정보의 선행기간 연장, 정보의 정확도 개선, 확률예보 수요 증가, 사용자에게 대한 정보 전달방법 개선(신기술 활용), 사용자 맞춤정보 제공(right information to right people at right time at the right place), 사용자 눈높이의 정보(적절한 대응책 수반) 등을 들었다. 이들 가운데 선행기간 연장은 기상청의 고유업무로서 농업부문에서 개선할 여지가 없으므로 제외하고, 나머지 사항에 대해서는 농업부문 특성을 반영하여 개선책을 강구하였다.

2.1 집수역: 서비스적용 공간단위

이 과제는 궁극적으로 개별농가 혹은 농지를 대상으로 맞춤정보를 제공하는 현업서비스까지 염두에 두고 있으므로 서비스 대상지역을 설정해야 한다. 결론부터 말하면, 조기경보체계가 적용되는 공간단위는 우리에게 익숙한 행정구역이 아니라 다소 생소한 집수역(watershed 혹은 catchment)이다. 집수역은 시군 혹은 읍면 등 기존 행정구역 경계를 가로지를 수 있어 서로 다른 시군 혹은 읍면에 거주하는 농민들이 같은 시스템에 의해 서비스를 받는 경우도 생길 것이다. 얼핏 보기에 비효율적으로 보이는 이런 상황은 집수역에 대한 우리 선조들의 통찰을 통해 쉽게 이해될 수 있다.

조선 영조 때(1769년) 신경준에 의해 편찬된 지리서 산경표(山經表)에 의하면, 우리 국토는 백두산(2,750m)에서 시작하여 계곡이나 강을 건너지 않고 산줄기만으로 지리산 천왕봉(1,915m)까지 이어지는 백두대간과, 여기에서 갈라져 나온 14개 산줄기(1 정간, 13 정맥)로 단순화 할 수 있다. 이 산줄기들은 10개의 큰 강을 구획하는 울타리 역할을 하며 강을 중심으로 주요 평야가 펼쳐져 있다. 여기서 가지 친 기맥으로 인해 생기는 집수역은 배산임수의 취락형성과 발달, 재배작물과 작부체계 결정, 식생활과 주거양식의 구분, 언어권의 분포, 오일장의 권역 등 모든 생활영역의 자연스런 경계를 나타낸다. 따라서 조기경보의 대상인 농업기상재해 역시 집수역에 따라 그 발생양상이 달라질 것이므로 서비스시스템의 운영은 인위적인 행정구역보다 집수역 단위로 하는 것이 더 효율적이다.

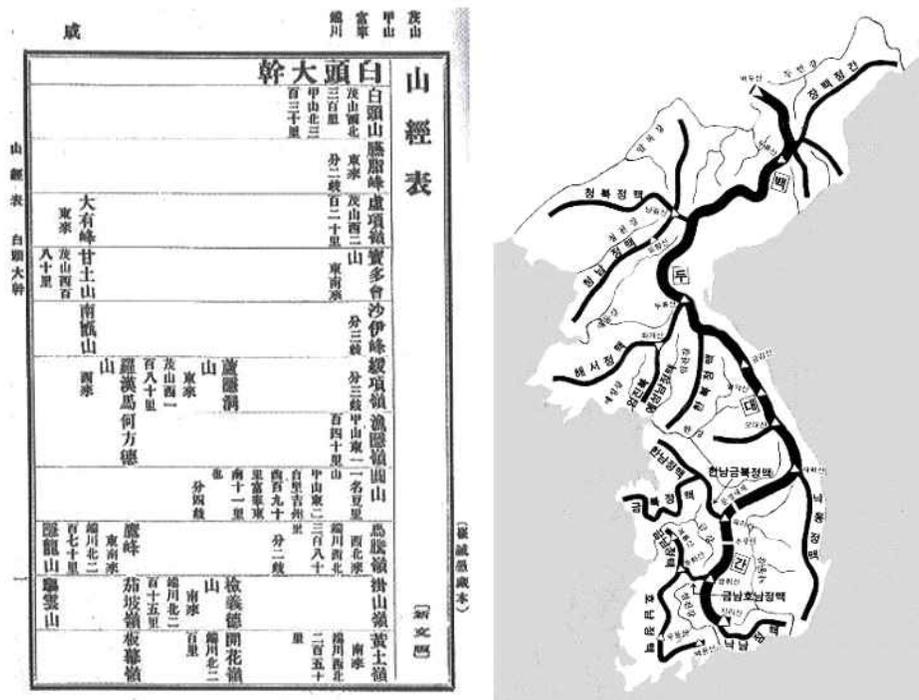


Fig. 1. Major mountain systems in the Korean Peninsula first described in 1769 by Shin Kyoung-Jun, the famous geographer of later Chosun Dynasty.

공간단위 결정에서 고려된 또 하나의 조건은 복잡지형의 국지기후 추정에 사용되는 규모축소 기술(예, 소기후모형)이 집수역 단위로 개발되었다는 점이다. 기온, 바람, 강수 등 대부분의 기상 요소는 분수령을 가로지르면서 공간분포양상(기상장)이 변하며, 하나의 집수역에 담긴 대기경계층은 그 성질이 균질적이지만 인접한 집수역과는 서로 이질적인 경우가 흔하다. 이 같은 현상은 여행을 다니면서 높은 고개마루를 넘거나 산 아래 터널을 통과한 다음 새로 맞이하는 고장의 날씨가 지나온 마을의 날씨와 사뭇 달라지는 경험으로부터 확인할 수 있다. 사실 사방 5km 분해능을 보장하는 기상청의 중규모 관측 및 예보기술이라면 집수역단위 기후까지는 공간분포를 정확히 파악할 수 있다. 문제는 집수역 내 국지기후를 추정하는 일인데, 이를 위해서는 집수역에 특화시킨 상세화 혹은 규모축소기술이 필요하다.

집수역은 수자원 개발, 토양보전, 오염관리 등 현대사회에서도 중요한 의미를 갖기 때문에 정부에서는 일찍이 정보관리체계를 구축하였다(<http://www.wamis.go.kr>). 그 가운데 국가 차원의 수자원개발, 계획 및 관리업무의 효율적 추진을 위하여 수자원 업무에 활용되는 자료의 수집, 분석과 물 관련 기관 간 자료의 공동활용을 목적으로 지형공간 상에 대권역, 중권역 및 표준유역 등 가상의 구역을 설정한 수자원단위지도가 있다 (<http://www.wamis.go.kr/WaterMap2013/WMS.htm>). 2002년 4월 건설교통부에서만 사용하던 수자원단위지도를 물 관련 기관간의 기초자료 교환 및 정보 생성을 위한 공통유역도로 활용하기 위해 관련부처 관계자(건교부, 농림부, 환경부 물정보 담당자) 및 외부전문가로 구성된 공통유역도 조정업무 전담반을 구성하였다. 여기에서 공통유역도(21개 대권역, 117개 중권역)를 확정하였고 이를 토대로 대권역 21개, 중권역 117개, 표준유역 840개로 구성된 수자원단위지도를 제작하였다. 집수역은 지형의 복잡성에 따라 그 크기와 형태

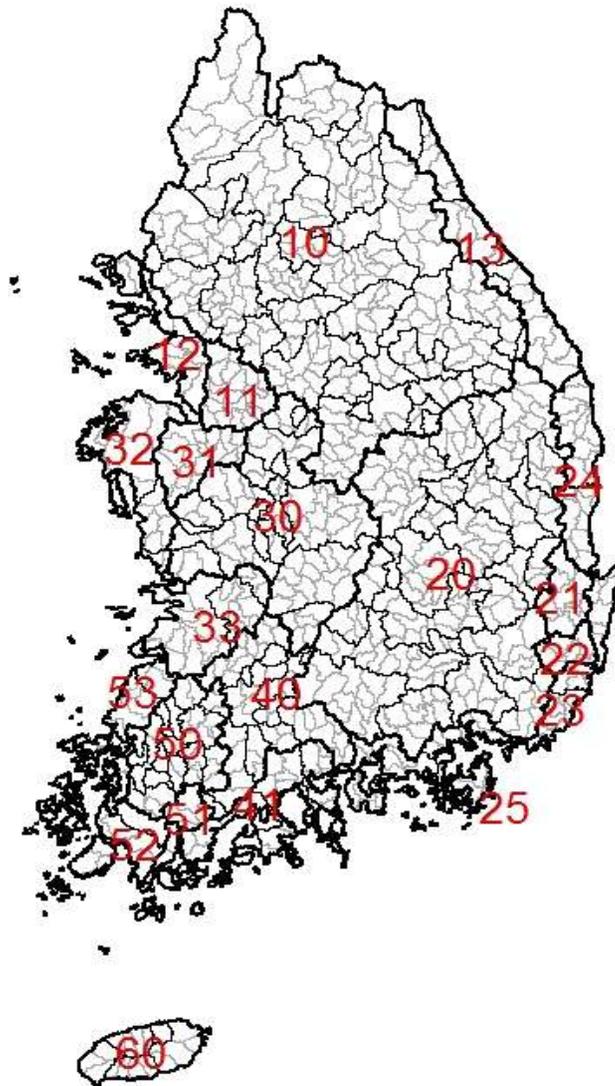


Fig. 2. Watershed classification for the southern part of the Korean Peninsula. The land area consists of 21 river basins indicated by number, or 840 watersheds.

가 다양해지는데, 국토면적이 남한의 100배 정도인 미국의 집수역이 2,267개임을 고려하면 (<http://water.epa.gov/type/watersheds/whatis.cfm>), 우리 국토가 상대적으로 산악지대가 많고 지형이 복잡함을 알 수 있다.

2.2 자원농가: 시범서비스 대상

하지만 한정된 채원과 연구기간, 연구인프라 등을 고려하면 나라 전체를 대상으로 과제를 수행할 수는 없으므로 우선 그 서비스영역을 21개 대권역 가운데 섬진강권역(40개 표준유역)으로 한정하였다. 이는 선행연구에 의해 구축된 연구인프라, 새로 조성된 농촌진흥기관의 이전지역,

2.3 소기후모형: 필지단위 국지기상 상세화도구

기상청이 방재기상감시 및 동네예보를 통해 제공하는 5km 격자 단위 0600(일 최저) 및 1500(일 최고) 기온자료를 각각 냉기효과-온난대모형 및 과열지수모형 (특허등록 5건, 특허출원 2건)에 입력하여 집수역의 지형 및 지표특성이 반영된 30m 격자값으로 상세화 할 수 있다. 선행연구(Yun *et al.*, 2013)가 수행된 경남 하동군 약양집수역의 14개 검증지점에서 2011년 7월부터 2013년 6월까지 2년 간 실측자료와 비교한 추정값의 신뢰도는 RMSE 기준 일 최저기온 1.5°C, 최고기온 1.3°C이었다.

중기예보의 경우 기상청에서 하루 2회 발표하는 전국 기상관서 20개 지점의 최고, 최저기온 자료를 기반으로 지점별 평년 대비 편차를 얻고 이들의 공간내삽에 의해 편차분포도를 제작한다. 대상지역 및 인근 기상관서의 평년값 기반 배경기온에 주간예보 편차를 더하여 주간예보 배경기온을 제작하고, 이를 소기후 모형에 적용하여 최종 30m 격자 해상도의 중기예보 상세분포도를 제작할 수 있다.

중규모 바람벡터자료(5 × 5km)로부터 270 × 270m 분해능의 상세 바람장을 실시간으로 생성하는 데 사용되는 도구로는 WindStation, MUKLIMO 등이 있다(Lopes, 2003). 모형입력용 지표풍속은 기상청 자동기상관측소 자료를 사용하며 경계층 풍속은 광주 고층월보의 925hPa 풍속을 이용하면 된다.

기상청에서 제공하는 강수 실황 혹은 예보로부터 농업부문에서 활용 가능한 수준의 상세한 강수분포도를 제작하기 위해 레이더 반사강도를 KLAPS 5km 강수자료에 적용하여 1km 격자해상도로 상세화 하는 1단계와, 고해상도 DEM에 근거한 지표면 경사방향(지향면)에 따라 고도 - 강수량 회귀계수를 달리하여 지형효과를 반영하는 2단계 등으로 이루어진 추정기법을 사용한다. 선행연구에서 확인된 바로는 일 강수량 10mm 이상부터 추정오차 감소효과가 인정되며, 특히 일강수량이 30mm 이상인 사례에서 평균 35% 이상의 오차감소효과가 확인되었다(Kim and Yun, 2013).

일사량자료는 전국적으로 21개 지점에서만 관측하므로 실황분포도 제작을 위해서는 천리안 위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS) MI (Meteorological Imager) 자료를 이용한다. 15분 간격의 표면도달일사량을 연속 수집하여 남한전역의 일간 적산값 분포로 변환하고, 대상지역 내 혹은 인근 일사관측기상대의 실측 일사량과 해당 지점의 위성일사량 간 편차를 구한다. 이를 대상지역 위성일사량에 적용함으로써 우선 ‘배경일사량’(수평면 전천일사)을 계산할 수 있다. 이 배경일사량에 복잡지형 일사수광량 추정모형(Yun, 2009)에서 제시한 일사수광비율(수평면일사량에 대한 경사면일사량의 비율)을 적용하여 최종 분포도를 30m 격자해상도로 산출한다.

이렇게 공간해상도 30~270m로 제작된 실황기상도 위에 편집지적도를 중첩시키면 해당 과원이나 논밭의 기상정보를 추출할 수 있다. 자원농가의 농지규모는 모두 0.2ha (2,000m²) 이상이므로 필지경계 내부의 30 × 30m 화소 값을 공간평균 하여 해당 농장의 대푯값으로 간주한다. 이렇게 추정된 필지단위 기상정보가 과연 실제에 얼마나 근접하는지는 조기경보체계 전체의 성패는 물론 농업기상 서비스의 실용성을 결정짓는 핵심이다. 이를 완벽하게 검증하기 위해서는 자

원농가포장 전체에서 기상을 관측해야 하지만, 현실적으로 불가능하므로 위치, 지형, 고도 등을 고려하여 선별한 소수의 필지에 한해 관측장비를 설치하여 부분적인 검증을 실시한다.

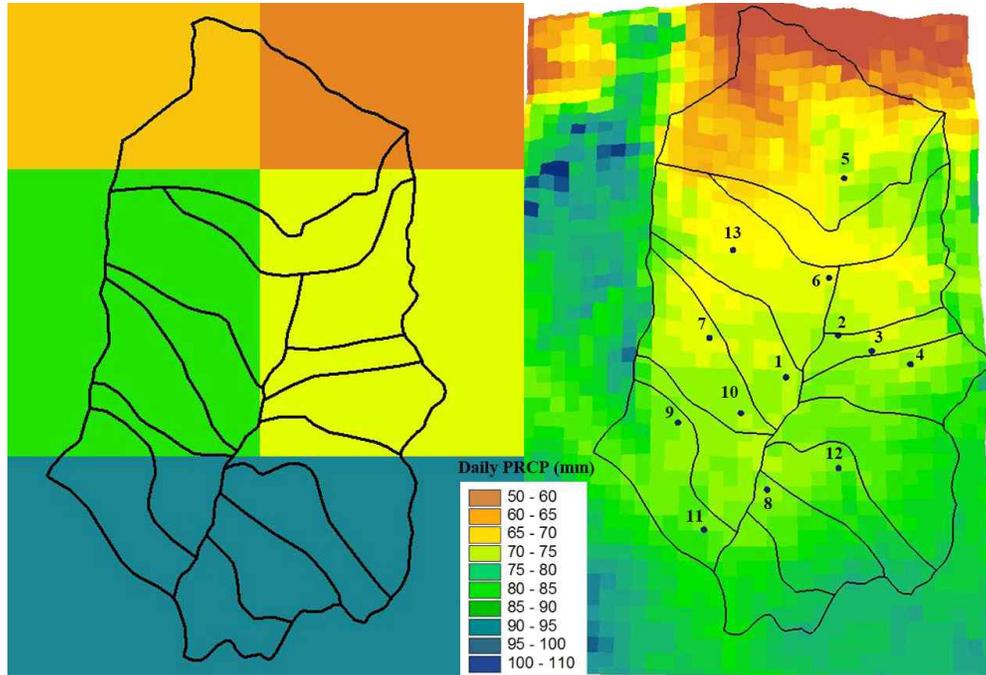


Fig. 4. Rainfall distribution maps for the study area on 27 May 2013, projected by the Korea Local Analysis and Prediction System on the 5km cell grids (left) and the radar assisted topography and elevation revision scheme at 270m grid cell resolution (right), respectively. (Adopted from Kim and Yun, 2013)



Fig. 5. An automated weather station installed at a mountain top location in the study area. It collects air temperature, humidity, wind speed, wind direction, rainfall amount and solar radiation at 1 minute interval and transmits the data to the laboratory via cell phone service every 10 minutes.

2.4 재해위험지수: 재해유발가능성의 정량적 해석

위험기상과 여기에 노출된 작물 사이 상호작용으로부터 발생하는 피해 가능성(likelihood)을 ‘재해위험지수’로 표현하고자 하였다. 한 집수역에서 오랜 기간 재배되어 온 작물은 이 집수역 특유의 환경조건(토양과 기후)에 맞춰 개체생장과 종족보존 측면에서 최적화를 이루었다고 가정할 수 있다. 이 작물을 다른 집수역에 오랜 기간 재배한다면 그 환경에 적응하기 위해 외부 형태와 내부 기능(예, 초장, 잎의 크기-두께-형태, 줄기의 굵기, 과일의 당도 등)이 달라질 수 있다. 유전적으로는 동일하지만 표현형이 다른 이러한 생태형(ecotype)의 다양성은 이미 잘 알려져 있으며, 국토가 좁아도 지형의 복잡성 때문에 상대적으로 많은 집수역을 가진 우리나라에서 쉽게 관찰된다. 지역에 따라 여기저기 형성된 과일이나 채소 주산지도 집수역 단위 환경조건 특성을 농업적으로 잘 활용한 사례라고 할 수 있다. 실제로 어떤 작물의 주산지가 분수계를 가로질러 서로 다른 집수역에 걸쳐서 발달하는 경우는 찾아보기 어렵다.

우리는 이러한 집수역 특유의 기후조건을 최소한 30년간 관측된 평년기후자료에 의해 평가한다. 평년의 기후는 평균과 분산(표준편차)으로 대표할 수 있으며 관측자료가 충분하다면 발생빈도가 평균을 중심으로 좌우 대칭의 정규분포곡선이 된다. 어떤 기후요소의 관측값이 정규분포를 따른다면 대체로 3년에 2번 정도는 정상범위(평균으로부터 +/- 1 표준편차)에 들 것이고 1번 정도는 이 범위를 벗어나며, 확률적으로 30년에 1번 정도는 평균으로부터 표준편차 2배 범위를 벗어나는 소위 ‘기상이변’(extreme weather)을 보일 수 있다 (Fig. 6). 하지만 기상현상의 발생이 정확하게 정규분포를 따르는 않으므로 미국 대기해양청(기후자료센터 NOAA NCDC)에서는 한 지역에서 과거에 관측된 기상자료를 크기순으로 나열하여 최상위(혹은 최하위) 10% 이내에 들면, 즉 10년에 한번 미만으로 발생하면 기상이변으로 간주한다. 우리나라 기상청에서도 최근 발간된 한국기후표(1981-2010 평년)에서 이 용어정의에 근거한 기후요소별 이상기후 기준(기후극값)을 제시하고 있다.

용어정의와 상관없이 오랜 기간 적응해온 기후범위를 벗어나는 날씨가 지속되면 거의 작물의 실패로 이어진다. 일 년 이내(초본성 채소나 식량작물)에서 십 수 년(목본성 과수)에 이르는 작물의 재배수명을 고려하면, 30년 평년의 정규분포곡선(평균과 표준편차)만으로 한 집수역의 재배적지 판정용 기후조건을 도출하는 일에 큰 무리가 없다. 한 집수역의 평년기후 특성이 정규분포곡선으로 표현되면, 당해년도 기상조건을 곡선 상에 중첩시켜 기상이변 여부를 금세 알 수 있고, 그에 따라 주작물 재배에 위험한지 아닌지 확률적으로 판단하는 일이 어렵지 않다. 특히 평균 0, 표준편차 1인 표준정규분포를 이용하면 기상요소에 관계없이 위험도를 단일 스케일의 재해위험지수로 나타낼 수 있다. 이 지수는 모든 작목에 공통적으로 적용할 수 있으므로 본 과제에서는 이를 ‘작목공통위험지수’(general risk index)라 부르기로 한다. 나아가 복숭아 동해한계온도 -20°C 처럼 이미 알려진 기상위험 임계치를 정규분포 상 확률분포함수(Z)로 대체하고, 당해 연도의 기상예보 값(동네예보, 중기예보)의 상대적인 위치를 찾으면 복숭아라는 특정작목의 맞춤형 동해위험을 평가할 수 있다. 기상재해의 종류와 위험에 해당하는 기후임계값은 작목과 품종, 생육단계에 따라 정해지므로 이 지수는 본 과제에서 ‘작목맞춤위험지수’(specific risk index)라 부르기로 한다.

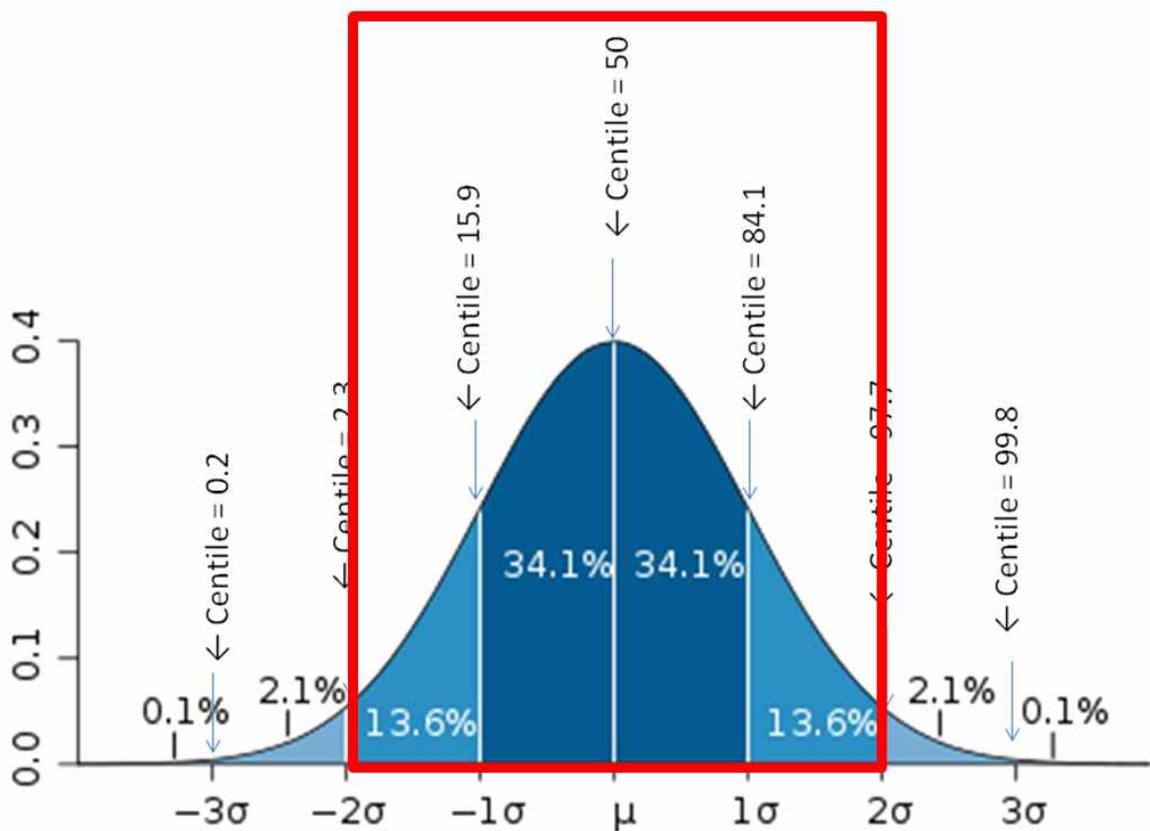


Fig. 6. A normalized distribution of any climate variables with the standard deviation and corresponding percentiles. Red box indicates the normal range within which crops may be grown safely with the risk probability of ‘only once in 30 years failure’.

이 과제에서는 전국의 810개 집수역에 대해 각각의 평년기후특성을 기후요소별 정규분포곡선으로 표현하고, 각 집수역에서 실제로 관측 혹은 예측되는 기상조건이 해당 집수역 주작물의 생육에 지장을 줄만큼 위험한지 여부를 확률치수로 표현하고자 하였다. 이때 작물의 발육단계에 따라 서로 다른 정규분포곡선을 준비하여 단계별 위험지수를 계산하는 데 사용한다. 모든 집수역의 평년 평균과 표준편차를 취합하여 하나의 지도로 나타낸 것이 기준위험지수 분포도이다. 여기에는 한국기후표에서 제시된 기후극값의 집수역단위 상세분포도 포함된다.

지금까지 설명한 기상재해위험은 대개 하루 이틀 내 단기간에 발생할 가능성이 큰 동상해, 홍수해, 강풍해, 일소 등 ‘급발성(acute) 재해’와 관련이 있다. 한편 그렇게 심한 정도는 아니지만 오랜 시간 누적된 저온, 일조부족, 혹은 강수부족 역시 작물의 생육과 품질에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 7, 8월 중 예년에 비해 비가 잦고 일조시간이 부족하면 여름작물에 기상청 특보만으로는 농치기 쉬운 생리장애가 발생하며 수확량이 줄고 품질이 나빠진다. 이러한 ‘지발성(chronic) 재해’를 적절한 시점에 예측하여 농가에 알려주는 일도 조기경보체계에 빠져서는 안 될 요소이다. 본 연구에서는 4주 및 8주 적산 일조시간, 생장도일(growing degree days), 강수량, 증발산량 등을 고려한 냉해, 일조부족, 가뭄 등 위험지수를 평년의 정규분포에 근거하여 산출하

고 일주일 간격으로 갱신한다. 또한 지발성 재해의 경우 단일 기상요소보다는 둘 이상의 요소가 복합적으로 작용하는 경우가 흔하므로 영향의 방향성에 따라 상가(相加) 혹은 상쇄(相殺) 효과를 표현한 복합위험지수도 제작한다.

2.5 시범서비스 병행

농학이 자연과학과 다른 점 가운데 가장 뚜렷한 것은 성과물의 실용화를 통한 경제효과 발생 여부에 있다. 농촌진흥청에서 지원받는 본 과제 역시 최종성과물인 조기경보체계가 현업서비스로서의 실용성을 인정받아야 한다. 이를 위해 연구 1차년도부터 제한된 지역에 한해 시범서비스를 운영하면서 업무매뉴얼을 만들고 연차적으로 지역을 확대하여 전국서비스로의 기반을 다지도록 계획되어있다.

일반적으로 현업서비스로서의 위험기상 조기경보체계는 감시-감지, 예측-경보, 의사지원, 경보 전달 등 4 단계로 구성되는데(Tang and Zou, 2009), 본 과제에서 구축하는 농업기상 경보체계의 경우 앞의 두 단계는 기상청의 기존 서비스에 의존한다. 구체적으로 기상청 종관자료(KLAPS, 동네예보, 중기예보)를 수신하여 대상 집수역의 경관규모 기상분포를 요소별로 상세하게 파악하여 재해위험지수 계산에 필요한 기본 기상자료를 자동으로 생성하는 단계가 그것이다. 미리 준비된 필지별 자원농가의 속성(품종, 발육단계)과 기상자료를 결합하고 평년 재해의 기준위험과 비교하여 실제 재해위험지수를 산출하는 과정이 의사지원단계에 해당한다. 이를 바탕으로 해당 농가에서 실행해야 할 대응지침과 함께 휴대전화 문자발송기능을 이용하여 경보를 개별적으로 제공하는 시스템을 구축한다. 시범서비스 기간 중에 시스템 운영 상 문제점을 파악하고 보완방안을 제시하여 차기년도 연구개발계획에 반영할 계획이다. 나아가 조기경보서비스 이용농가와 그렇지 않은 농가 간 경영성과를 비교함으로써 서비스의 실효성을 평가할 것이다.

Ⅲ. 지금까지 추진내용

3.1 연구팀 구성

과제의 효율적 추진을 위해 유기적으로 연결된 3개 팀으로 구성되는데, 미기상전문가와 GIS 기술자로 구성된 ‘기상실황 상세화’(국가농림기상센터 주축), 작목별 전문가와 농업기상학자로 구성된 ‘기상위험 지수화’(경희대학교 주축), 농업기상기술자와 소프트웨어 엔지니어로 구성된 ‘시스템 통합 및 현업화’(에피넷 주축)가 그것이다. 국립농업과학원 내부연구원들은 업무 연관성에 따라 외부연구팀과 융합하며, 국가농림기상센터는 기상청으로부터 필요한 배경기상정보(동네예보, KLAPS, 방재기상 및 ASOS)를 안정적으로 제공받을 수 있는 파이프라인 역할을 겸하게 된다.

각종 기술의 현장 실증실험 및 시범서비스를 위해 연구기관 내부 실험실 외에 대상지역 현장에 연구원 상주 실험실을 설치, 운영한다. 이곳에서는 소기후모형에 의한 예측결과를 고밀도 관

측망(지상, 경계층, 토양)에 의해 검증하고 집수역 단위로 최적화하며, 작목별 위험지수 추정치를 현지 포장 실측자료와 비교하고 그 산출방법을 개선하는 역할을 한다. 또한 주산지 이장협의회, 협동조합, 농업기술센터 등 현지조직을 이용하여 지적도 상 필지(농장) 단위 토양, 작물, 경영정보를 수집하고 서비스 참여농가의 경제성 분석 등 업무도 수행하게 된다.

2014년 9월말까지 진행된 팀별 연구내용과 주요 결과는 다음과 같다.

3.2 기상실황 상세화

1차년도 연구대상지역인 3개 집수역(하동2수위표, 화개천, 화개천합류점. 총 면적 350km²) 내에 검증자료 수집을 위한 22대의 무인기상관측장비(AWS)를 설치하여 1분 간격으로 측정된 자료를 수집하고 있다. 수집되는 기상요소는 기온, 상대습도, 일사, 풍향, 풍속, 강수 등이며 3개 지점에는 토양수분함량을 측정한다. 측정된 자료는 데이터로거(Model STL-X16, STA Inc., Korea)에 저장되며 10분 마다 CDMA (code division multiple access) 방식으로 실험실 서버로 전송된다(Fig. 7).

기상청에서 수집되는 0600 및 1500 기온은 실황자료(KLAPS) 및 동네예보를 배경기온으로 두고 집수역 내 30m 격자점 마다 해발고도편차 보정을 비롯한 각종 지형효과 보정을 거쳐 상세 분포도를 작성하였다.

일평균 상대습도는 포화수증기압에 대한 실제 수증기압으로 표현되므로 연구지역에서 가장 가까운 기상관서 6곳(진주, 순천, 남원, 산청, 남해, 여수)로부터 관측된 일평균 수증기압 자료를 수집하여 30m 격자점마다 고도에 따른 보정을 실시하였다.

바람분포는 Sievers and Zunkowski(1986), Sievers(1995) 등이 제시한 미규모 바람장 수치모델인 MUKLIMO (micro scale urban climate model)을 적용하였다. 모의 지역의 지형구조는 가로세로 20 km × 29.7km 구역에 대한 해발고도 분포를 270m 격자단위로 입력하였다. 연구대상지역에서 태풍(NEOGURI, NAKRI)이 통과하는 동안 3시간 간격으로 모의한 지면 2m 위 바람 U, V 값을 재배열하여 연구대상지역의 풍향, 풍속을 270m 격자분포로 산출하였다.

일사실황의 경우 기상청 국가기상위성센터에서 제공하는 천리안 위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS)의 Meteorological Imager 자료 중 표면도달일사량을 진주기상대 실측일사량으로 보정하여 연구대상지역의 수평면 배경일사를 제작하고, 여기에 일사수광비율 적용하는 방식(Yun, 2009)에 의해 일사수광량 분포도를 30m 격자해상도로 추정하였다. 동네예보에 빠져있는 일사량 예측분포를 제작하기 위해 이를 대체할 수 있는 ‘하늘상태’ (맑음, 구름 조금, 구름 많음, 흐림)를 일 평균운량으로 변환하였다. 연구대상지역 인근 진주기상대로부터 평년기간(1981-2010)의 일 평균운량과 일조시수 자료를 수집하여 회귀분석을 통해 연중 적용할 수 있는 운량을 독립변수로 둔 일조시수 추정식을 도출하였다. 일조시수를 알면 Cho *et al.* (1987)의 방법에 의해 수평면 일사량을 산출할 수 있으며, 사면 일사수광비 보정(Yun, 2009)을 통해 최종 예측일사 분포를 얻게 될 것이다.

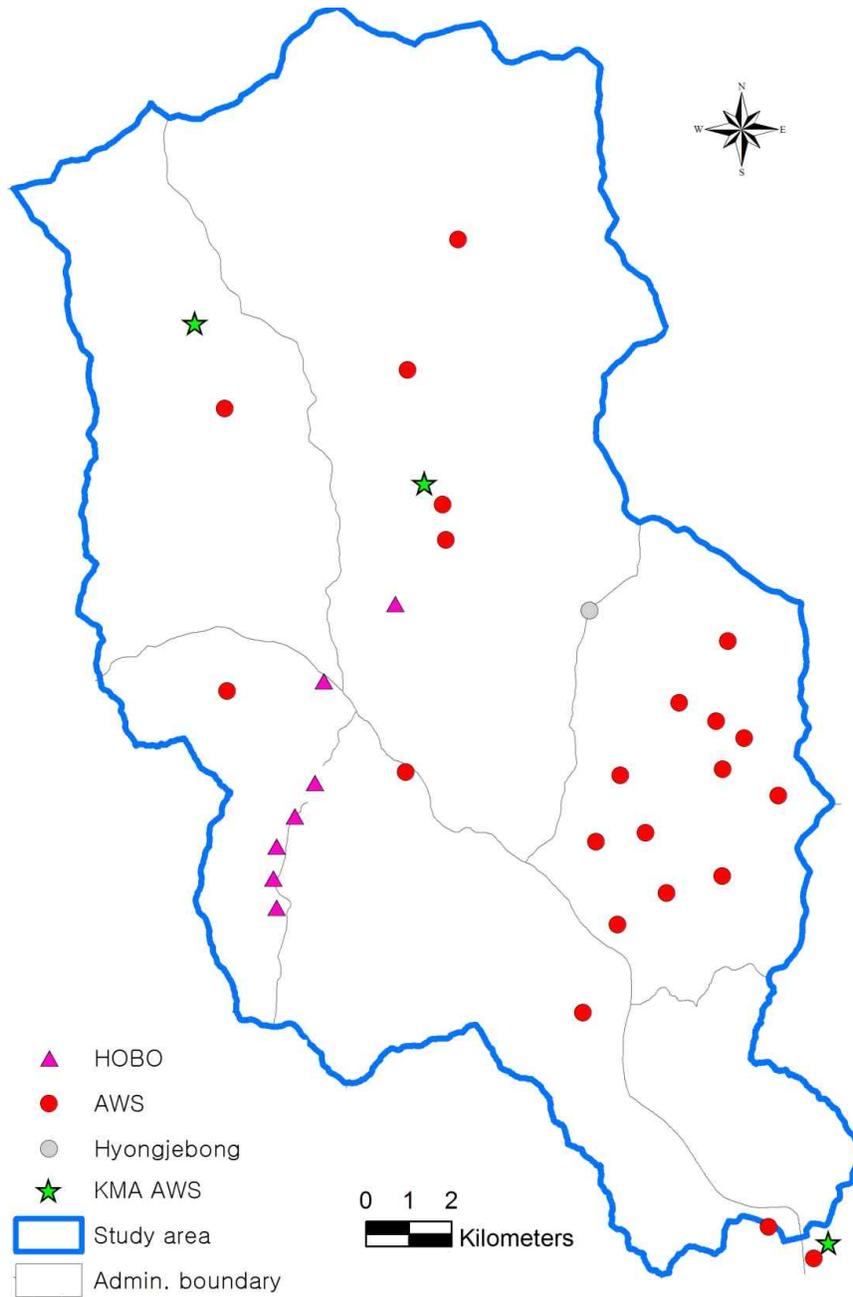


Fig. 7. Locations of field validation sites consisting of 22 automated weather stations (AWS) and 7 temperature – humidity loggers (HOBO). Korea Meteorological Administration’s unmanned stations (KMA AWS) and Korea Forest Service’s mountain weather station (Hyongjebong) are also shown for comparison.

3.3 재해위험 지수화

주산지가 형성되어 있는 작물을 대상으로 발육단계별 재해종류, 피해발생기작, 관련 위험기상 및 판정기준, 실제 발생사례에 관한 정보를 수집하고, 작목별로 재해위험관리 전문가를 자문위

원으로 위촉하여 담당연구원과 협력체계를 구축하였다. 재해종류는 동상해, 냉해, 고온해 및 일조부족, 일소, 가뭄, 관수-침수, 적설, 강풍에 의한 피해 등으로 분류하고 발생기작을 검토하여 피해발생과 가장 관련이 깊은 기상요소를 도출하였다. 이들을 다시 작목-품종별로 분류한 다음 발육단계별 우선순위를 선정하였다.

작물의 발육단계(생물계절) 추정을 위해 달력시간 대신 사용할 수 있는 온도시간을 도입하고 시범지역의 주 작목에 대하여 평년의 기후자료와 생육조사자료를 분석하여 생물계절모형, 발육속도모형, 생장도일 등 작목특성에 맞는 온도시간 적용방안을 도출하였다.

1981-2010년 평년기후(한국기후도의 시군 지점별 기상자료)를 토대로 집수역 단위 면적가중평균에 의해 재분석된 810개 집수역 단위 기후자료를 복원하였다. 주요 작목의 휴면해제, 발아, 개화, 생리적 성숙 등 주요 발육단계 도달일자를 집수역 단위 기후자료에 의해 온도시간(평균, 표준편차, 사분위수 등)으로 표현하고 이를 해당 작목의 기후학적 평년 영농달력으로 간주하였다. 이는 농촌지역에 뿌리내린 24절기를 현대적으로 재해석한 것이라 할 수 있다.

작목별 영농달력을 토대로 재해위험기준(reference risk)을 집수역 단위로 설정하였다. 재해위험이 큰 기상요소에 대하여 기본통계량(영농달력 상 특정기간 최고, 최저, 평균, 적산, 편차 등)과 위험기상의 출현횟수 및 지속기간(adverse days)에 대해 각 분포를 정규화(normalization) 하였다. 이들 정규분포에 근거하여 세계기상기구 기후전문위원회에서 제시한 기후극한지수를 집수역별로 추정하였다(Table 2, Fig. 8).

어떤 농장-과원의 당해년도 실제 기상조건이 피해로 이어질 가능성을 농장-과원이 포함된 집수역의 평년 재해위험기준을 근거로 한 상대지수로 표현하는 방안을 검토하였다. 가뭄해의 경우 현재 시점 이전 2개월 전부터의 유효강수량에다가 증발산량, 지면유출량을 제한 토양잔류수분을 매주 산정하고, 이를 평년 기준위험(표준정규분포)과 비교하여 상대적인 심각성을 지수로 표현하였다.

향후 기상실황 상세화를 통해 생산된 기상자료로부터 계산된 재해위험이 해당 집수역의 정상 기후조건에서 기대되는 위험수준으로부터 얼마나 벗어나는지를 작목별로 표현할 것이다. 예를 들어 평년 기준위험의 확률분포함수(z)를 특정 작목에서 재해위험을 유발하는 임계온도로 대치하고, 당해년도 예측온도를 확률분포 위에 중첩시켜 위치정보와 연계하면 농장, 과원 등 개별 경지단위로 재해위험을 판정할 수 있다.

Table 2. List of core indices for climate extremes (Adopted from Zhang and Yang, 2004)

ID	Indicator name	Definitions	UNITS
FD0	Frost days	Annual count when TN(daily minimum)<0°C	Days
SU25	Summer days	Annual count when TX(daily maximum)>25°C	Days
ID0	Ice days	Annual count when TX(daily maximum)<0°C	Days
TR20	Tropical nights	Annual count when TN(daily minimum)>20°C	Days
GSL	Growing season Length	Annual (1st Jan to 31st Dec in NH, 1st July to 30th June in SH) count between first span of at least 6 days with TG>5°C and first span after July 1 (January 1 in SH) of 6 days with TG<5°C	Days
TXx	Max Tmax	Monthly maximum value of daily maximum temp	°C
TNx	Max Tmin	Monthly maximum value of daily minimum temp	°C
TXn	Min Tmax	Monthly minimum value of daily maximum temp	°C
TNn	Min Tmin	Monthly minimum value of daily minimum temp	°C
TN10p	Cool nights	Percentage of days when TN<10th percentile	Days
TX10p	Cool days	Percentage of days when TX<10th percentile	Days
TN90p	Warm nights	Percentage of days when TN>90th percentile	Days
TX90p	Warm days	Percentage of days when TX>90th percentile	Days
WSDI	Warm spell duration indicator	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX>90th percentile	Days
CSDI	Cold spell duration indicator	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TN<10th percentile	Days
DTR	Diurnal temperature range	Monthly mean difference between TX and TN	°C
RX1day	Max 1-day precipitation amount	Monthly maximum 1-day precipitation	Mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	Mm
SDII	Simple daily intensity index	Annual total precipitation divided by the number of wet days (defined as PRCP>=1.0mm) in the year	Mm/day
R10	Number of heavy precipitation days	Annual count of days when PRCP>=10mm	Days
R20	Number of very heavy precipitation days	Annual count of days when PRCP>=20mm	Days
Rnn	Number of days above nn mm	Annual count of days when PRCP>=nn mm, nn is user defined threshold	Days
CDD	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days with RR<1mm	Days
CWD	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days with RR>=1mm	Days
R95p	Very wet days	Annual total PRCP when RR>95th percentile	Mm
R99p	Extremely wet days	Annual total PRCP when RR>99th percentile	mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation	Annual total PRCP in wet days (RR>=1mm)	mm

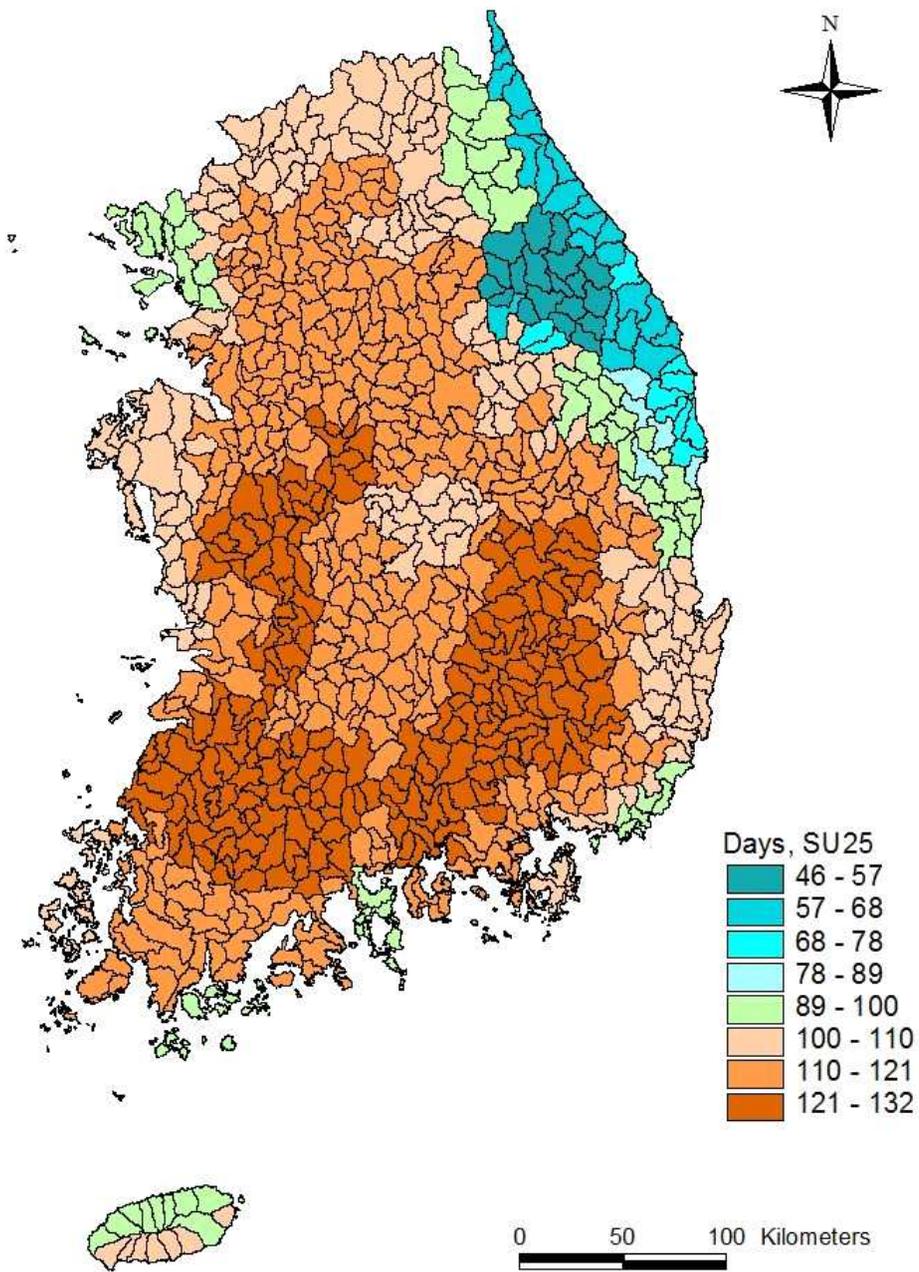


Fig. 8. Distribution of the number of summer days (daily maximum temperature >25°C) averaged for the 1981-2010 period.

3.4 시스템 통합 및 현업서비스

농장-과원 단위로 재해위험경보를 발령하고 회피-경감 방안 및 사후 복구정보를 일대일로 제공하는 현업서비스 구축을 목표로 하며, 1차년도에는 서비스 프로토타입을 개발하고자 하였다. 기상청의 예보 및 실황정보(5km 격자 혹은 시군 행정구역 단위)를 바탕으로 집수역 소기후 모형을 적용한 30m ~ 270m 격자단위 자료 추정, 이를 이용한 작목별 재해위험지수 계산, 평년기 후조건과의 비교를 통한 경보 발령, 경보수준별 대응지침 검색 및 편집, 종합정보의 자원농가 휴대폰 문자 전달 등 다양한 시스템 구성요소들을 유기적으로 연결하여 시범서비스를 설계하였다.

시범지역의 자원농가 영농속성을 파악하기 위하여 하동군 악양면, 화개면, 광양시 다압면, 구례군 간전면, 토지면의 400여 자원농가로부터 필지고유번호, 필지 경계도형, 성명, 농장명, 작물, 품종, 수령, 주소, 휴대전화, 전자우편주소 등을 수집하였다. 이들 지역의 편집지적도로부터 필지 고유번호와 필지경계도형을 추출하여 수집된 영농속성과 결합함으로써 서비스 구축을 위한 공간데이터베이스를 확보하였다.

농촌진흥청, 도 농업기술원, 지방자치단체 등에서 발간한 작목별 재해대응 관리지침과 전문가 의견을 종합하여 재해위험 예견 시 해당농가의 회피-경감, 사후 피해복구 등 대응 매뉴얼을 제작하였다. 여기에는 재해정보 발령시점을 기준으로 사전, 즉시, 사후 대응지침이 있으며, 재해유형(동해, 상해, 일조부족 등), 작목(벼, 보리, 과수, 채소, 특용 등), 발육단계에 따라 검색할 수 있다.

상세 기상실황 및 예보를 근거로 영농속성에 맞게 재해위험을 평가하며, 관리지침과의 논리적 결합을 통해 해당 필지의 대응정보가 편집된다. 이들 필지별 농업기상특보는 웹 GIS에 표출하여 면사무소 등 관할기관에서 사용하며, 농민 개인의 메일과 휴대폰을 통해 전달될 수도 있다.

시범지역만을 대상으로 하는 경보서비스 외에 전국을 대상으로 기상청의 시군 행정구역 단위 기상특보를 전국 840개 집수역 단위로 재분류하고, 지발성 기상재해(냉해, 일조부족, 가뭄) 위험을 집수역 단위로 매주 감시할 수 있는 체계도 구축하였다. 기상청에서 발표하는 150개 시군 단위 기상특보를 강도(주의보, 경보)에 따라 정량화 하고, 한 집수역을 구성하는 시군 면적비율에 의해 공간평균을 얻어 10단계의 위험지수로 재분류하였다. 또한 76개 기상관서에서 관측되는 일 기상자료를 토대로, 기후학적 평년에 대비한 주간 단위 지발성 기상위험지수(냉해, 일조부족, 가뭄)의 공간평균을 산출하여 810개 집수역별 지발성 기상재해 조기경보서비스로 구현하였다. 시범 서비스는 GIS Open API (국토교통부 공간정보 유통 플랫폼 VWorld)를 활용한 웹 GIS 형태이며 집수역별 기상 특보와 지발성 기상위험 분포도가 중첩되어 표출된다.

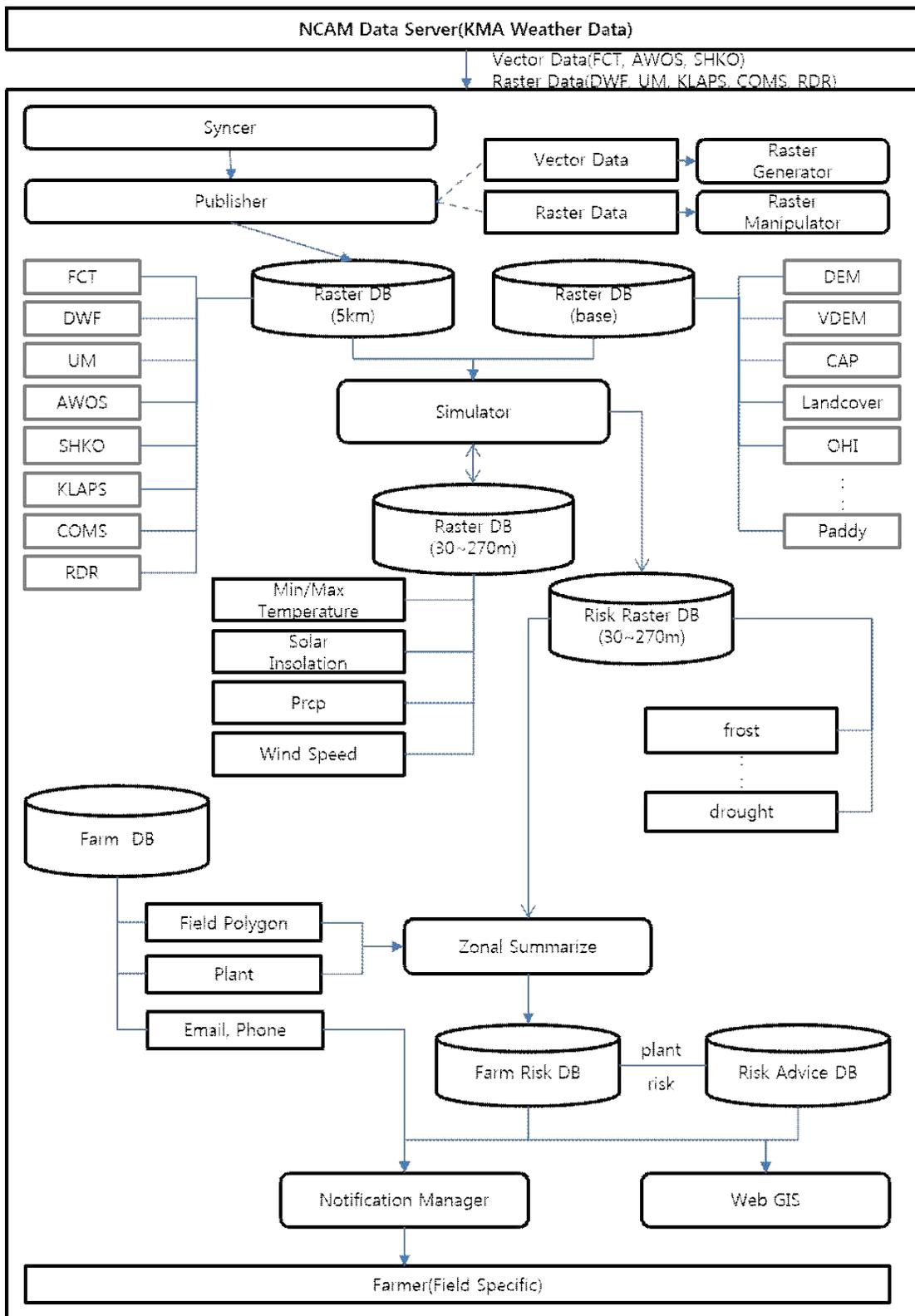


Fig. 9. Editing and distribution module within the early warning system.

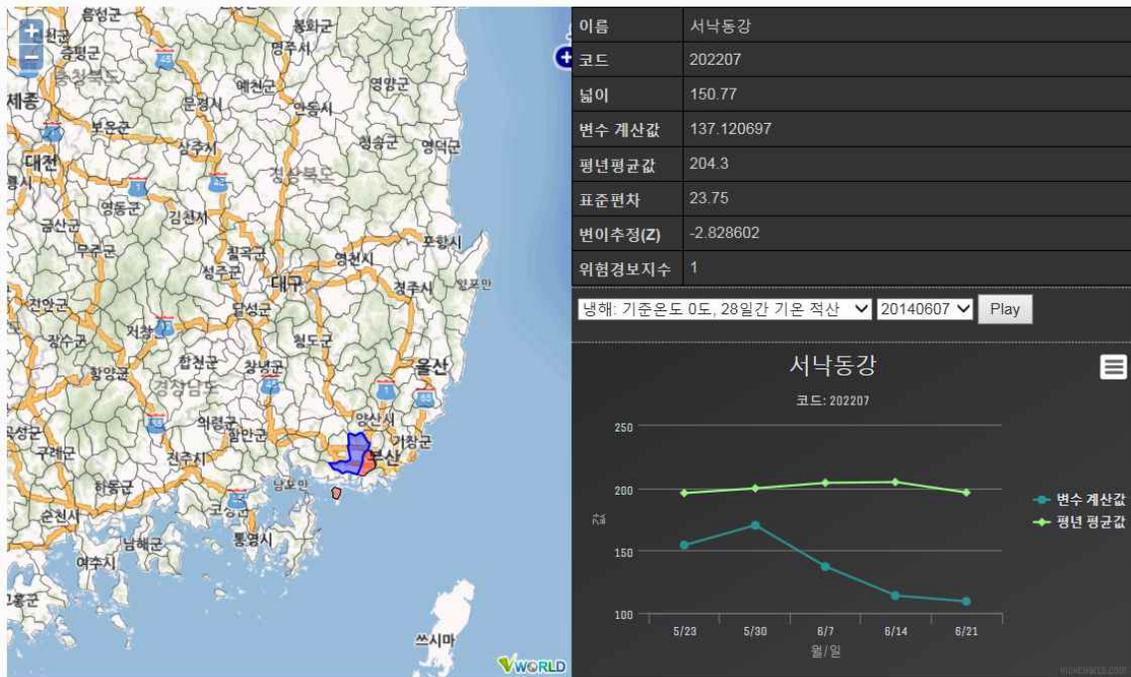


Fig. 10. A web user interface for the catchment scale chronic risk monitoring system.

IV. 향후 계획

우리가 목표로 하는 조기경보체계 및 현업서비스는 외국과는 다른 우리 고유의 환경(농업, 지형, 지세, 작목다양성, 규모 영세성 등)에 최대한 적합하도록 설계되었다. 가장 큰 특징은 집수역 하나하나를 기술적용의 공간단위로 설정한 것이다. 각 집수역의 평년기후(농작물 적응)를 확률적 토대로 두고, 당해연도의 주어진 기상조건이 생육단계별로 내포한 재해유발 가능성을 위험지수로 표현하는 것이다. 이것은 국내여건 상 단일의 정부기관, 공공단체, 민간기업에서는 다룰 수 없는 문제를, 학제적인 기술융합에 의해 모범답안으로 제시하는 셈이다.

반면 수많은 작목과 품종에다가 각각의 생육단계까지 고려해야 하는 일이라 일단 업무량이 방대하고 긴 시간이 소요되는 점을 감안하여 일차년도에 동시다발적으로 시작된 연구주제와 내용을, 규모만 달리하여 최종연도까지 계속 수행하게 된다. 섬진강권역에서 재배되는 과수, 채소, 식량 및 특용작물에 대한 재해위험지수 산정방안을 점진적으로 개발하고, 기상재해 대응 관리 지침의 전산 DB화를 토대로 재해위험 대응 매뉴얼을 제작할 것이다.

기존 검증관측망 외에도 확장된 지역을 대상으로 최적위치에 기상관측장비를 추가로 설치하여 국지기상 감시, 관측 및 모델검증 체계를 구축해 나가며, 이를 토대로 상세 국지기상 실태 및 예보 추정기술을 현업수준으로 개선하게 된다. 나아가 강수레이더 등을 활용한 초단기 예보 및 기상특보 상세화를 위한 기술을 모색하여 우박과 같은 돌발기상에 대한 정보역량을 강화할 것이다. 최종연도까지는 전국 확대를 위한 기상실태 상세화기술의 표준화를 달성하게 될 것이다.

일차년도부터 자원농가 대상의 조기경보체계 구축과 시범서비스를 동시에 추진하고 있지만 연구용 서버로는 현업서비스를 지속적으로 감당하기는 어렵다. 앞으로 대상지역과 농가의 확대에 부응하도록 국립농업과학원 내에 고성능 서버를 갖추고 확장된 지역의 3,000호 이상 자원농가를 대상으로 맞춤형 농업기상정보를 원활하게 제공할 수 있을 것이다. 그렇게 되면 서비스 이용농가와 그렇지 않은 농가 간 경영성과 비교를 통해 실효성 평가도 가능해진다. 이밖에 서비스시스템의 운영 상 문제점을 파악하고 보완방안을 강구하여 최종연도까지는 서비스에 대한 운영 및 관리지침을 개발하고 전국서비스로의 확대 발전 방안을 수립할 것이다. 확대발전방안을 이용하여 단순한 연구과제 차원을 벗어나 국가적 사업으로서 남한전역을 대상으로 하는 맞춤형 농업기상서비스 구축도 기대해 본다.

적 요

기상이변의 증가추세는 인류가 직면한 기후변화의 또 다른 속성이며 농업부문에서는 이미 심각한 재해로 이어지고 있다. 기상이변은 다양한 공간규모에 걸쳐 일어나지만 그 영향을 완화시킬 처방은 국지적인 규모에서만 가능하다. 따라서 기후변화 대응을 위한 조기경보체계는 반드시 '위치와 장소'를 기반으로 그곳의 영농정보를 바탕으로 할 때만 효율적이다. 기존 조기경보체계는 다양한 영농현장에 대한 구체적 위험을 알려주지 못하며, 농가의 개별적 상황이 대응조치에 반영되지 못하고, 악기상의 장기 누적효과에 의해 발생하는 '지발재해'나 둘 이상의 기상요소가 동시에 작용하는 '복합재해'에 대한 고려가 없다. 본 강좌에서는 선행연구들에 의해 확보된 '농가맞춤형 기상위험 관리기술'을 토대로, 필지단위 국지기상조건을 재배중인 작물의 종류와 발육단계에 맞춘 '재해위험지수'로 정량화하고, 이를 평년기준과 비교하여 재해발생 가능성을 판단하며, 적절한 대응방안과 함께 재배농가에게 일대일로 전달하는 '맞춤형 농업기상서비스' 구축에 관하여 논의한다. 이 서비스를 현업화하기 위한 1단계 4년의 조기경보체계 실증연구가 2014년에 시작되었고, 2017년까지는 남한 21개 대권역 가운데 하나인 유역면적 4,914km²에 60,202호의 농가로 이루어진 섬진강권역을 대상으로 현업서비스를 구축하게 된다. 연구수행과정에서 얻어지는 경험은 2단계 전국 대상 사업으로 확대되어 기후변화와 기상이변 증가에 따른 농업부문 재해위험을 개별농가 차원에서 실질적으로 경감시키는 데 기여할 것이다. 금세기 농업분야 최대의 도전인 기후변화를 슬기롭게 극복하기 위해 '기후스마트농업'이 학계의 대안으로 자리 잡았지만, 국내 성공의 전제조건으로서 농업기상 조기경보체계의 지속적인 개발과 이를 토대로 한 맞춤형 농업기상서비스의 전국 확대가 필요하다.

인용문헌

Cho, H. M., K. W. Chung, and C. H. Cho, 1987: The relationship between the amount of solar radiation at ground level and related meteorological parameters. *Journal of Korean Meteorological Society* **23**, 26-34.

- Glantz, M. H., 2004: Usable Science 8: Early Warning Systems: Do's and Don't's - Report of the workshop held in Shanghai, China; October 16, 2003. (Available on the Internet at <http://www.ccb.ucar.edu/warning/report.html>).
- Gunasekera, D., 2004: Natural disaster mitigation: Role and value of warnings, Outlook 2004. Speaker Papers, *Disaster Management Workshop Session*, Canberra, Australia.
- International Strategy for Disaster Reduction, 2006: *Disaster Statistics [1991-2005]* (<http://www.unisdr.org/disaster-statistics/pdf/isdrdisaster-statistics-impact.pdf>)
- International Strategy for Disaster Reduction, 2005: Hyogo Framework for Action 2005-2015: *Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. (Available at <http://www.unisdr.org/eng/hfa/hfa.htm>).
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Kim, D. J., and J. I. Yun, 2013: Improving usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: 2. Refining the distribution of precipitation amount. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(3), 171-177. DOI: 10.5532/KJAFM.2013.15.3.171
- Rashid, A., 2014: Global information and early warning system on food and agriculture. Integrated Global Models of Sustainable Development Vol. 2, *Encyclopedia of Life Support Systems* (Available on the Internet at <http://www.eolss.net/>)
- Roberts, M. J., D. Schimmelpfennig, M. J. Livingston, and E. Ashley, 2009: Estimating the value of an early-warning system. *Review of Agricultural Economics* **31**(summer), 303-329, DOI: 10.1111/j.1467-9353.2009.01439.x
- Rogers, D. P., and V. Tsirkunov, 2010: Costs and benefits of early warning systems. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. ISDR and World Bank, 17pp. http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/Rogers_&_Tsirkunov_2011.pdf
- Sievers, U., and W. G. Zdunkowski, 1986: A microscale urban climate model. *Beitr ge zur Physik der Atmosphäre*, **69**(1), 13-40.
- Sievers, U., 1995: Verallgemeinerung der stromfunktion-smethode. *Meteorologisch Zeitschrift NF* **4**, 3-15
- Tang, X., and Y. Zou, 2009: Overview of Shanghai MHEWS and the role of NMHS. *Second Experts' Symposium on MHEWSs with Focus on the Role of NMHSs*, 5-7 May 2009, Toulouse, France. (Available at <http://www.wmo.int/pages/prog/drr/events/MHEWS-IIPresentations/Session%201/Shanghai/ShanghaiMHEWS.pdf> 34 | Page
- Wang, J., X. Zhang, T. Keenan, and Y. Duan, 2009: Air-quality management and weather prediction during the 2008. Beijing Olympics. *WMO Bulletin*, **58**(1), 31-40.
- Wilhite, D.A., M. J. Hayes, C. Knutson, and K. H. Smith, 2000: Planning for Drought: Moving from crisis to risk management. *Journal of American Water Resources Association*, **36**, 697-710.
- WMO, 2002: *Guide on Improving Public Understanding of and Response to Warnings*, PWS-8, WMO/TD No. 1139, Geneva, Switzerland. (Available through the WMO Website at: http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/publicationsguidelines_en.htm).
- WMO, 2003: *Guidelines on Cross-Border Exchange of Warnings*, PWS-9, WMO/TD No. 1179, Geneva, Switzerland. (Available through the WMO Website at the following weblink:

http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/publicationsguidelines_en.htm).

WMO, 2005: *Guidelines on Integrating Severe Weather Warning into Disaster Risk Management*, PWS-13, WMO/TD. No. 1292, Geneva, Switzerland. (Available through the WMO Website at the following weblink: http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/publicationsguidelines_en.htm).

WMO, 2008: *Guidelines on Communicating Forecast Uncertainty*, PWS-18, WMO/TD No. 1422, Geneva, Switzerland. (Available through the WMO Website at the following weblink: http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/publicationsguidelines_en.htm).

WMO, 2010: *Guidelines on Early Warning Systems and Application of Nowcasting and Warning Operations*. PWS-21, WMO / TD No. 1559, 22pp. (Available through the WMO Website at the following weblink: <http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/PWS-21.pdf>)

Yun, J. I., 2009: A simple method using a topography correction coefficient for estimating daily distribution of solar irradiance in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 13-18. (In Korean with English abstract)

Yun, J. I., S. O. Kim, J. H. Kim, and D. J. Kim, 2013: User-specific agrometeorological service to local farming community: a case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 320-331. DOI: 10.5532/KJAFM.2013.15.4.320

Zhang, X., and F. Yang, 2004: *RClimdex 1.0 User Manual*. Climate Research Branch, Environment Canada. 23p.

Billion Dollar U. S. Weather Disasters since 1980 <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/billionz.html>

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) <http://www.unisdr.org>

UN/ISDR Platform for the Promotion of Early Warning <http://www.unisdr.org/ppew/ppew-index.htm>

3rd International Conference on Early Warning: <http://www.ewc3.org>

WMO World Weather Research Programme (WWRP) nowcasting research Website:
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/nowcasting_research.html

[United States] Federal Emergency Management Agency National Response Framework:
<http://www.fema.gov/emergency/nrf/>

[United States] Natural Hazards Center: <http://www.colorado.edu/hazards>

Meteoalarm: <http://www.meteoalarm.eu>