

기상가뭄정보 생산기술 및 활용



배덕효

세종대학교 건설환경공학과 교수
한국방재협회 이사
dhbae@sejong.ac.kr



소재민

세종대학교 건설환경공학과 박사과정
enjoy0517@nate.com



이은정

기상청 방재기상팀 팀장
enjoy0517@nate.com

1. 서론

최근 지구온난화에 따른 기후시스템의 변화로 과거에 경험하지 못한 규모의 기상재해가 빈번히 발생하고 있으며, 피해규모도 전 지구적으로 증가하고 있는 추세이다. 그 중 가뭄은 홍수와 함께 가장 빈번히 발생하는 자연재해중 하나이다. 가뭄은 장주기적이고 광역적으로 발생함에 따라 구체적인 시기, 장소, 원인 규명이 어려워 대응하기 쉽지 않은 재해이다. 실제로 정부는 가뭄극복을 위해 가뭄정보제공 시스템 개발, 관개용수의 확보, 비상 관정의 개발 등 그동안 여러 대책을 마련해 왔다. 그러나 가뭄에 의한 피해는 여전히 계속되고 있으며, 그 규모도 증가하는 추세이다. 더욱이 기후변화의 영향으로 가뭄발생이 더욱 빈번할 것이라는 견해가 제시되고 있어 가뭄대응을 위한 지속적인 노력이 요구된다(손경환 등, 2014).

국내에서는 보통 2~3년 주기로 국지적인 가뭄, 5~7년 주기로 극심한 가뭄이 발생하며, 주로 봄철과 겨울철에 발생빈도가 높다(배덕효 등, 2013). 가뭄의 진행속도가 느려 지역에 따라 개인별로 느끼는 피해정도가 주관적이어서 이를 객관적으로 인지하지 못할 뿐이지, 사실 우리나라 곳곳에 주기적으로 가뭄이 발생하고 있다. 과거 대표 가뭄피해사례를 살펴보면 1994~1995년 및 2001년 가뭄피해가 있으며, 2008~2009년 강원도 태백시와 남부지방에 극심한 피해를 겪은바 있다. 최근 2014년에는 마른장마의 영향으로 중부 지방에 가뭄이 발생하였으며, 장마철 강수부족은 2015년까지 영향을 미쳤다. 이로 인해 소양강 댐은 역대 최저수위를 기록하였으며, 일부 지역에서는 제한급

수, 농업용수 부족 등의 피해가 발생하였다.

그동안 국내 가뭄관리 기관에서는 가뭄으로 인한 피해를 최소화하고자 다양한 업무를 수행해 왔다. 대표적으로 기상청, 국토교통부(K-water), 농림축산식품부(한국농어촌공사) 및 국민안전처에서는 기관별 고유목적에 따른 가뭄정보를 생산하고 이에 맞는 가뭄대책을 수립해 왔다. 기상청은 일반 국민이 쉽게 현재 강수상황을 이해하고 효율적인 가뭄관리를 위해 웹사이트를 통해 SPI, PDSI, PN 등의 기상학적 가뭄정보를 제공하고 있다. 기상자료를 이용하여 기상학적 가뭄상황을 판단하여 가뭄에 대한 대비체계를 수립할 수 있도록 유관기관에 정보를 제공하고 있다. 국토교통부(K-water)에서는 효율적인 다목적댐 운영 및 용수공급지원을 위해 가뭄모니터링시스템을 구축하여 MSWSI, WADI 등의 수문학적 가뭄정보를 활용하고 있다. 농림축산식품부(한국농어촌공사)에서는 농업가뭄평가시스템을 구축하여, 주로 강수량, 농업용 저수지 저수율 정보 등을 바탕으로 RDI 등의 농업적 가뭄정보를 생산하고 있다. 국민안전처에서는 사회경제적 가뭄정보를 활용하고 있으며, 가뭄이 발생했을 시 중앙안전대책본부를 가동하여 취약지역에 대한 병물/물차 지원, 관정 개발, 절수운동 등의 단기 대책을 마련해 왔다. 그러나 가뭄관리 기관에서는 가뭄 현황분석에 근거한 초동 조치에 국한되어 있으며, 상호 업무이해 및 협력, 가뭄예측 정보 활용을 통한 적극적 가뭄대응은 여전히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 현 기상청에서 가뭄관리를 위한 가뭄정보생산 기술 실태를 조사·분석하고, 기상가뭄정보를 유관기관에서 공동 활용방안을 제안하고자 한다.

2. 기상청 가뭄정보생산 기술

기상청은 2012년 ‘한반도/동아시아 영역 가뭄전망·대응기술 개발’을 통해 실시간 가뭄조기경보 시스템을 개발한 바 있다. 본 시스템은 기상청 장기예측자료와 수문모델의 연계해석을 통해 미래 물순환 정보 생산 및 변화를 분석하고, 물 순환 변화에 따른 대기 및 지표의 가뭄상황을 고려하는 가뭄정보를 생산한다. 또한, 가뭄전망정보의 불확실성을 최소화하기 위해 통계적 보정기술을 개발하여 고품질 가뭄전망정보 생산체계를 구축하였다.

2.1 현업모델 기반의 기상예측정보 생산 기술

기상청은 2010년 6월 영국 기상청과 계절예측시스템의 공동구축 및 운영에 관한 협정을 체결하였으며, 현업 예보를 위해 기후예측 모델인 GloSea5를 도입하여 현재 운영 중에 있다. 이 모델은 영국 기상청의 최신 계절예측시스템에 사용되고 있으며, 영국 기상청 기후 모델인 HadGEM3

(Hadley Centre Global Environment Model version 3)에 기초해서 구축되었다. HadGEM3는 대기, 해양, 해빙, 지표면 모델들이 하나로 합쳐진 전지구 결합 모델(Coupled General Circulation Model, CGCM) 로써 UM (Unified Model)을 대기 모델로 사용하고, MOSES (Met Office Surface Exchange Scheme)가 지표 모델로 결합되어 있다(Essery et al., 2003). 해양과 해빙 모델은 각각 NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean), CICE (Los Alamos sea ice model) 모델이 사용된다(Madec, 2008; Hunke and Lipscomb, 2008). 그리고 각 모델들은 대기-해양 플럭스 교환을 위해 Valcke (2011)이 개발한 OASIS 커플러에 의해 결합되어 있다. 대기 모델의 수평 해상도는 $0.83^{\circ} \times 0.56^{\circ}$, 해양 모델의 수평 해상도는 tri-polar 격자에서 0.25° (약 25km)이고, 연직으로는 L75의 해상도를 가진다.

표 1은 GloSea5에 대한 주요 특징을 나타낸 것이다. GloSea5의 Hindcast (HCST) 자료는 매달 1일, 9일, 17일, 25일 마다 초기장을 입력하여 생산되며, 각 출발일에는 모델의 물리과정을 달리하는 방법으로 확률적 운동에너지 후방 산란법(Stochastic Kinetic Energy Backscatter2, SKEB2)을 이용하여 대기 분석장과 해양 및 해빙 초기장으로부터 3개의 앙상블 멤버를 생산한다(Bowler et al., 2009). 자료생산 기간은 1996년부터 2009년(총 14년)이며, 각 앙상블 멤버당 7개월간 모델적분이 진행된다. Forecast (FCST)는 HCST와 동일한 방식으로 매일 적분이 진행되며 매 초기장 마다 2개의 앙상블 멤버가 생산된다. 현재, 기상청 슈퍼컴 3호기 해당(Haedam)서버에 GloSea5 자료의 후처리과정(post-processing) 자동화 시스템이 탑재되어 있으며, 가뭄정보의 생산을 위한 기상 예측정보가 실시간으로 생산된다.

표 1. GloSea5의 주요 특징

-		Major characteristics and informations
Composition of model	Atmosphere	• UM (v8.0)
	Ocean	• NEMO(v3.2)-CICE (v4.1)
	Copuler	• OASIS3
Spatial resolution	Atmosphere	• N216($0.83^{\circ} \times 0.56^{\circ}$)
	Ocean	• ORCA tri-polar grid at 0.25°
Initial input data	Atmosphere	• Hindcast : ERA interim • Forecast : KMA numerical analysis field
	Ocean	• Hindcast : Seasonal ODA reanalysis. Forecast : NEMO VAR
Production period of data and ensemble number		• Hindcast : - Fixed start dates of 1st, 9th, 17th, 25th of each month - 3 members run per start date • Forecast : - 2 members run each day

2.2 기상-수문 연계해석 기술

가뭄발생은 ENSO 등 전지구적 기후특성 변화에 영향을 받음에 따라 이를 고려한 대륙규모의 물 순환해석이 요구된다(Sheffield and Wood, 2008). 가뭄관리 선진국들은 기상 및 수문 연계해석을 통해 다양한 가뭄정보의 생산뿐 아니라 대륙 또는 전지구적으로 발생하는 가뭄특성을 반영하고 있다. 그러나 국내에서는 대륙규모의 가뭄해석 및 전망기술 부족으로 행정구역 또는 유역단위 가뭄상황 정보만을 생산하고 있다. 또한, 기상 및 수문 연계해석 기술이 미흡하여 물 순환 변화에 따른 가뭄정보 생산이 어려운 실정이다.

동아시아 지역에 위치한 우리나라는 몽골, 중국 및 일본 등과 함께 계절풍의 영향을 받는 몬순 지대에 속해있다. 이로 인해 강수의 대부분은 6~9월에 집중되어 있어 여름철에는 홍수, 겨울 및 봄철에는 가뭄이 발생하는 기후학적 특징이 있다. 최근에는 기후변화로 인해 동아시아 지역의 열파(heat wave)와 더운기간(hot spell)이 길어져 겨울철 강수량이 감소함에 따라 가뭄 발생빈도를 증가시키고 있으며, 실제로 우리나라와 더불어 동아시아 전역에 가뭄피해가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 국내 가뭄영향을 분석하기 위해서는 인접한 국가들과 연계한 분석이 수행되어야 하며, 수문기상 연계해석을 통해 우리나라 또는 (동)아시아 영역에 대한 가뭄감시 및 전망기술 개발이 필요하다. 이를 위해서는 대륙 또는 전지구 수문해석모델의 활용기술과 국외 지형 및 수문정보가 요구된다.

본 연구에서는 한반도 및 동아시아 영역에 대한 수문해석 및 가뭄정보 생산을 위해 LSM (Land Surface Mode)을 구축하였다. LSM은 중규모(mesoscale) 이상의 공간해상도에 대한 시·공간적인 분석이 가능하여 대유역 및 전지구 수문해석에 주로 활용된다. 본 연구에서는 중규모 이상의 수문해석에 있어 적용성이 검증된 VIC (Variable Infiltration Capacity) 모형을 이용하였다(Sheffield et al., 2008; Son et al., 2011). 모델의 특징은 대기와 식생 그리고 토양의 상호작용 등의 수문과정을 기반으로 물과 에너지의 유동(Water & Energy Flux)을 모의하는 분포형 모형으로써 크게 물수지(water balance), 하도추적(channel routing), 에너지수지(energy balance) 등으로 구성되어 있으며, 각 모듈은 독립적으로 수행된다. 모형에서 적용 가능한 공간해상도의 범위는 $1/8^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 정도로 다양한 공간분해능이 가능하며, 기상모델(Global Climate Model, GCM; Regional Climate Model, RCM)과 직접적인 연계가 용이하다.

LSM을 구축하는데 있어 입력자료는 중요한 요소이며, 지형 및 기상자료로 구성된다. 특히, 지형자료는 대상지역의 특성을 반영하는 정보로서 수문해석에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서는 국내 및 전지구 자료를 활용하여 한반도, 동아시아 영역에 대한 LSM의 입력자료를 구축하였다. 한반도 영역의 지형자료의 경우 국립지리정보원의 DEM, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 토지피복도, 농업과학기술원의 정밀토양도를 활용하였다. 동아시아 영역의 지형자료는 미국지질조사국(United States Geological Survey, USGS)의 DEM, University of Maryland (UMD)의 토지피

복도, 국제연합식량농업기구(Food Agriculture Organization, FAO)의 토양도를 활용하였다. 다만, 이와 같이 수집된 자료는 LSM의 입력자료로 직접적으로 활용할 수 없다. 이에 본 연구에서는 수집된 자료를 LSM의 공간해상도에 맞게 재가공하여 이용하였다. 기상관측자료는 기상청의 ASOS (Automatic Synoptic Observation System), AWS (Automatic Weather System)와 GloSea5의 기상예측자료를 이용하였다. GloSea5 경우 공간해상도가 0.83°(약 85km) × 0.56°(약 55km)로 낮아 LSM 모형의 공간해상도로 변환 할 필요가 있으며, 본 연구에서는 이중선형보간(bilinear interpolation) 기법을 이용하여 GloSea5의 해상도를 보간하였다.



그림 1. 전지구 지형자료(DEM, 토지피복도, 토양도)

2.3 한반도 및 동아시아 영역 가뭄정보 생산 기술

한반도 및 동아시아 영역의 가뭄정보는 감시 및 전망정보로 구성되며, 생산절차는 그림 2와 같다. 가뭄감시정보의 경우 기상학적 및 수문학적 정보로 구분되며, 이를 생산하기 위해 ASOS 및 AWS 기상관측(강수량, 평균기온, 최대기온, 최저기온, 평균풍속) 자료가 요구된다. 기상학적 가뭄정보는 각 자료들을 해당 일을 기준으로 과거 30년간 지속기간별 누적값으로 변환한 후, 이를 이용하여 기상학적 가뭄지수인 SPI (Standardized Precipitation Index), PDSI (Palmer Drought Severity Index), PN (Percentile Normal)을 생산한다. SPI는 지속기간별 누적값의 적정 확률분포형으로부터 해당시점의 누가확률값 추정 및 표준화 과정을 통해 산정되며, PDSI는 배덕효 등 (2013)이 제시한 표준화 방법을 통해 산정된다. 수문학적 가뭄정보를 생산하기 위해 일단위 기상자료를 LSM의 해상도에 맞게 구축한다. LSM으로부터 수문정보(자연유출, 토양수분, 증발산 등)를 모의하고 누적값을 계산한 후, SPI와 동일하게 확률분포형을 이용하여 수문학적 가뭄지수인 SSI (Standardized Soil moisture Index), SRI (Standardized Runoff Index)를 생산한다.

가뭄전망정보는 기상청 현업모델인 GloSea5의 미래 예측자료(Forecast, FCST)와 과거 재현자료(Hindcast, HCST)가 활용되며, 월 및 계절 기후예측정보는 FCST 값과 HCST 값으로부터 아노말리(Anomaly)를 산정하고, 이를 과거 관측기후값(History)에 더하는 방법을 이용한다. 가뭄전망

정보는 매월 1일부터 해당월 마지막 전날까지 생산된 FCST와 HCST의 아노말리를 계산한 후 1개월, 2개월 및 3개월 기후전망정보를 산정하고 관측자료와의 결합을 통해 기상학적 가뭄지수(SPI3, SPI6, PDSI, PN)를 생산한다. 또한, 수문전망정보는 FCST 및 HCST 멤버별로 LSM을 구동하여 자연유량, 토양수분량, 증발산량 등을 산정한 후, FCST 및 HCST의 아노말리를 계산한다. 1개월, 2개월 및 3개월 수문전망정보의 아노말리와 관측자료 기반의 수문정보를 결합하여 수문학적 가뭄지수(SSi3, SRI3)를 생산한다. 가뭄전망정보 생산은 1개월, 2개월 및 3개월로 구성되며, 전망기간에 대한 3개월 누적 기후 및 수문자료를 생산한다. 이 때, 1개월 및 2개월 전망은 과거 관측자료가 활용되며, 1개월 전망은 미래 1개월 전망과 과거 2개월 관측정보, 2개월 전망은 미래 2개월 전망과 1개월 관측정보가 활용된다.

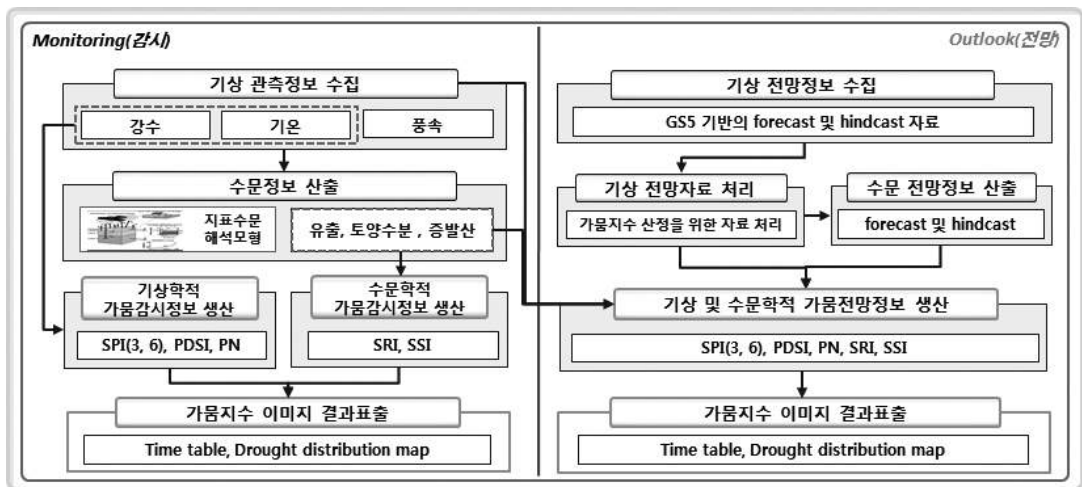


그림 2. 가뭄감시 및 전망정보 생산절차

2.4 가뭄전망정보 정확도 향상 기술

가뭄전망정보는 기상모델의 월 및 계절 기후예측정보를 이용하여 수문해석 또는 가뭄지수와의 연계를 통해 생산된다. 그러나 기상예측정보의 불확실성으로 인해 가뭄정보의 신뢰성 문제는 여전히 제기되고 있는 상황이며, 이로 인해 수문기상 선진국에서도 계절별 가뭄전망에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서, 가뭄전망정보의 정확도 개선을 위한 연구가 필요하며, 가뭄관리에 적합한 가뭄전망정보 생산이 지속적으로 요구되고 있다. 가뭄전망정보의 정확도 향상 기술은 통계적(statistical) 및 물리적(physical) 방법으로 구분된다. 통계적 방법은 과거 수문기상 현상이 미래에도 재현될 수 있다는 전제하에 미래 가뭄상황을 전망하는 방법이다. 그러나 이 방법은 예측된 결과들이 모두 과거의 경향에 국한됨에 따라 최근에 급변하는 수문기상의 특성을 고려하는데 한계가 있

다(Trenberth, 1994). 물리적 방법은 주어진 초기 수문기상 조건으로부터 역학적 알고리즘이 탑재된 기후 및 수문모델의 연계모의를 통하여 미래 가뭄을 전망하는 방법이다. 통계적 방법과는 달리 최근 물 순환의 변화 예측이 가능하다는 장점이 있어 활용도가 높지만, 모델의 정확도 문제로 예보에 어려움이 있다(Landsea and Knaff, 2000).

본 연구에서는 가뭄전망 정확도 향상을 위해 베이지안 기반의 해석모듈을 개발하였다. 베이지안 기법은 사전정보와 우도함수로부터 사후정보를 생산하며, 사전정보는 과거 관측자료, 우도함수는 모델의 예측자료로부터 추정된다. 베이지안 기반의 가뭄전망정보를 생산하기 위해 사전분포의 인자는 과거 수문기상정보, 우도함수의 인자는 GloSea5와 LSM에 의해 생산된 수문기상 전망정보를 활용하였다. 사후분포는 사전분포와 우도함수의 곱을 통해 결정되며, 이때의 사후정보가 가뭄지수의 입력자료로 활용하였다. 베이지안 기법을 연계한 실시간 가뭄전망정보 생산 체계는 실시간 가뭄조기경보 시스템에 탑재되어 시험운영 중이며, 과거 가뭄사상을 대상으로 지속적인 평가가 진행되고 있다. 다만, 베이지안 기법 이외에 가뭄전망정보의 정확도 향상을 위한 기술 개발 및 평가가 필요하며, 현업에 적용할 수 있는 최적의 방법이 도출되어야 할 것이다.

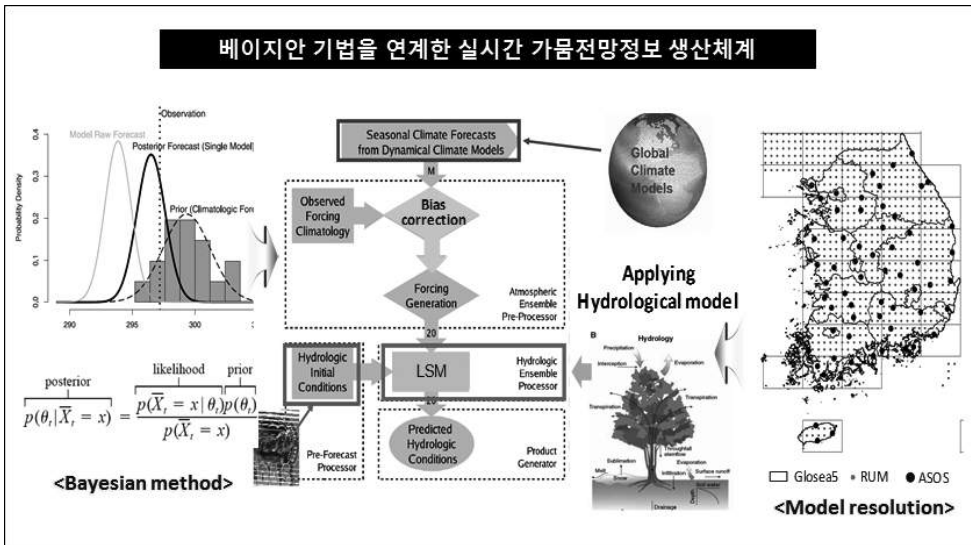


그림 3. 베이지안 기반의 가뭄전망정보 정확도 향상 기술

2.5 실시간 가뭄조기경보시스템 개발

본 연구에서 개발한 실시간 가뭄조기경보 시스템은 한반도, 동아시아 영역에 대한 가뭄감시 및 전망정보를 매일 생산하며, 웹기반으로 구현되어 분포도, 그래프, 통계테이블 등 다양한 형태의 정보를 제공한다. 또한 시스템 메뉴는 메인화면, 지역별 가뭄지수 및 개별 가뭄지수 등으로 구성되며,

사용자는 각 페이지별로 관심지역에 대해 현재와 미래(1개월, 2개월 및 3개월)의 가뭄정보를 확인할 수 있다.



그림 4. 실시간 가뭄조기경보 시스템

시스템의 운영모듈은 크게 입력자료 처리, 가뭄정보 생산, 가뭄정보 이미지 표출로 구성된다. 표 2는 실시간 가뭄조기경보시스템의 각 자료처리 단계별 운영시간을 나타낸 것이다. 기상청의 ASOS, AWS 및 GloSea5 정보를 현 시스템에서 실시간 전송받아 적정 해상도 구분 및 관련 기상인자들을 추출하고, 수문해석에서 가뭄지수까지의 계산이 자동 수행한다. 기상자료는 일단위 강수량, 평균기온, 최대기온, 최저기온 및 평균풍속이 활용된다. 가뭄감시의 경우 매일 오전 10시 5분까지 ASOS 및 AWS의 기상관측자료가 본 시스템에 자동 전송된다. 이를 이용하여 기상학적 가뭄지수인 SPI, PDSI, PN을 생산 및 표출한다. 일단위 기상자료는 수문모델에 입력되어 유출 및 토양수분량을 모의하고, 가뭄지수인 SRI, SSI를 생산한다. 가뭄전망에서는 전날 GloSea5 2개 멤버의 FCST가 구동되며, 당일 오전 3시 30분까지 본 시스템의 D/B에 자료가 전송된다. 이후 1시간 동안 FCST 멤버별로 과거 HCST와의 아노말리 계산, 1개월, 2개월 및 3개월 기후전망정보를 생산한 후, 관측 자료와의 결합을 통해 기상학적 가뭄지수를 생산한다. 수문전망정보는 가뭄감시에서의 수문모델 모의가 완료된 이후 시작되며, 각 FCST 멤버별 LSM 모의는 19시 10분에 완료된다. 이후, 21시까지 FCST

및 HCST의 아노말리로부터 가뭄전망을 위한 유출량 및 토양수분량을 모의한 후, 최종 수문학적 가뭄지수를 생산한다. 현 시스템의 일부 기술은 종합가뭄정보 시스템에 탑재되어 한반도 영역에 대한 기상학적 가뭄감시 및 전망정보를 제공하고 있다.

표 2. 실시간 가뭄조기경보시스템의 운영스케줄

Process5		Contents	Monitoring		Outlook	
			Start	End	Start	End
Run GloSea5	Collect the meteorological prediction data	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitation • Temperature(Maximum, Minimum and Mean) • Mean Wind Speed 			01 : 00 (-1day)	02 : 14 (+1day)
	Collect the meteorological observed data		10 : 00	10 : 05		
	Calculate the anomaly of predicted meteorological data					
Estimate the meteorological drought indices		<ul style="list-style-type: none"> • SPI • PDSI 	10 : 06	10 : 36	03 : 30	04 : 00
Monitoring	Create the meteorological drought index images every Wednesday		10 : 36	11 : 00		
Outlook					04 : 00	04 : 30
Monitoring	Estimate hydrological data using LSM	<ul style="list-style-type: none"> • Runoff • Soil Moisture 	10 : 06	13 : 06		
	Estimate the hydrological drought indices	<ul style="list-style-type: none"> • SRI • SSI 	13 : 06	14 : 06		
	Create the hydrological drought index images		14 : 06	14 : 30		
Outlook	Run LSM based on FCST member 1	<ul style="list-style-type: none"> • Runoff • Soil moisture 			13 : 10	16 : 10
	Run LSM based on FCST member 2				16 : 10	19 : 10
	Estimate the hydrological drought indices	<ul style="list-style-type: none"> • SRI • SSI 			19 : 11	20 : 00
	Create the hydrological drought index images every Wednesday				20 : 01	21 : 00

3. 결론 및 제언

본 연구에서는 기상청의 기름정보 생산 기술현황을 분석·제시하였다. 기상청은 장기에측자료와 수문모델의 연계해석을 통해 미래 물 순환 정보 생산 및 변화를 분석하고, 물 순환 변화에 따른 대기 및 지표의 기름상황을 고려하는 기름정보를 생산할 수 있는 기술력을 보유하고 있다. 기름전망정보의 불확실성을 최소화하기 위해 베이지안 기반의 통계적 보정기술을 개발하여 고품질 기름전망정보 생산체계를 구축하고, 이를 기반으로 실시간 기름조기경보 시스템을 개발하였다. 실시간 기름조기경보 시스템의 일부 기술은 종합기름정보시스템을 통해 유관기관에 자연상태의 기상학적, 수문학적 기름감시 및 전망정보를 제공하고 있다.

현재 국내 기름 유관기관은 기상청, 국토교통부(K-water), 농림축산식품부(한국농어촌공사), 국민안전처 및 환경부 등이 있다. 향후 국내에서 보다 향상된 그리고 일관된 기름정보생산 및 기름대응을 위해서 그림 5와 같이 각 기관에서 기관고유의 기름정보를 생산하고 공유하는 방안을 제안한다. 먼저 기상청에서는 지상관측자료와 GS5 기반의 기름감시 및 전망정보를 생산하고, 이를 기상청 홈페이지 및 종합기름정보시스템을 통해 기상청 고유의 목적에 해당하는 기상학적 기름감시 및 전망 결과를 대국민 서비스한다. 뿐만 아니라 이들 결과를 국토교통부(K-Water) 및 농림축산식품부(한국농어촌공사)에 제공함으로써 K-Water는 기존에 수행하는 수문학적 기름감시정보 생산 이외에도 댐의 저수량, 하천수위 등을 고려한 수문학적 기름전망정보를 생산하여 대국민 서비스하고, 한국농어촌공사에서도 기존의 농업적 기름감시정보 이외에도 농업용 저수지 상황을 고려한 농업적 가



그림 5. 유관기관 기름정보의 공동 활용방안

뭍전망정보를 생산하여 대국민 서비스하는 것이 타당할 것이다. 또한, 국토교통부 및 농림축산식품부에서 생산된 정보는 기상청에 피드백하여 고품질 가뭄정보 생산을 위한 개선방안으로 활용되어야 하며, 이들 각 기관에서 생산된 가뭄감시 및 전망결과는 국가가뭄정보센터에 통합관리하고, 이들 정보를 활용하여 국민안전처에서는 사회경제적 가뭄정보를 생산하여 대국민 서비스를 하는 것이 바람직할 것이다. 끝으로 아직 국내 실무에서 활용되고 있지는 않지만, 기상청에서 생산되는 동아시아 도메인의 자연상태의 기상학적, 수문학적, 농업적 가뭄감시 및 전망 정보는 우리나라 가뭄발생의 원인 규명 및 대책방안 수립에 유용하게 활용될 것으로 믿는다.

<참고문헌>

- 건설교통부 (2002). 2001 가뭄기록조사보고서
- 배덕효, 손경환, 김현애 (2013). “수문기상 정보에 따른 국내 가뭄판단기준 제시 및 평가.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제46권, 제3호, pp. 289-300.
- 손경환, 배덕효, 안재현 (2014) “미래 기후·수문 정보에 따른 국내 가뭄의 전망 및 분석.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제47권, 제1호, pp. 71-82.
- Byun, H.R. and Wilhite, D.A. (1999). “Objective quantification of drought severity and duration,” *Journal of Climate*, Vol. 12 pp. 2747-2756.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G. (1980). “On the statistical characteristics of drought events,” *Water Resource Research*, Vol. 16, No. 2, pp. 289-296.
- Katz, R.W. and Glantz, M.H. (1986). “Anatomy of a rainfall index,” *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, Vol. 114 pp. 764-771.
- Luo, L and Wood, E.F. (2008). “Use of Bayesian merging techniques in a multimodel seasonal hydrologic ensemble prediction system for the eastern United States,” *Journal of Hydrometeorology*, Vol.9, pp. 866-884.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). “The relationship of drought frequency and duration of time scales,” 8th Conference on Applied Climatology, January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*, Research paper, No. 45, U.S. Weather Bureau, 1965.
- Sheffield, J. and Wood, E.F. (2008). “Global Trends and Variability in Soil Moisture and Drought Characteristics, 1950-2000, from Observation-Driven Simulations of the

- Terrestrial Hydrologic Cycle.” *Journal of Climate*, Vol. 21, pp. 432–458.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H. (2007). “Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI).” *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 5, pp. 821–833.
 - Wilhite D. A. and M. Buchanan–Smith. (2005). “Drought as hazard: understanding the natural and social context, *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management*”, Issues, pp.3–29.
 - Yevjevich, V.M. (1967). “An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Drought.” *Hydrology Papers*, Vol. 23, Colorado State University Fort Collins, Colorado.