

# 수문학적 가뭄감시의 현재와 미래



이주현

중부대학교 토목공학과 교수  
leejh@joongbu.ac.kr



장호원

중부대학교 토목공학과 박사과정  
hs980216@hotmail.com

## 1. 서언

최근 2014~2015년 연속으로 발생한 가뭄으로 우리나라는 국지적으로 제한급수의 상황이 초래되었으며 전국적으로도 심한 장기가뭄으로 인하여 물수급에 비상상황이 여러분야에서 나타났다. 최근의 가뭄현상은 우리나라만의 문제가 아니며, 미국의 캘리포니아와 브라질의 상파울로 등 세계 전역이 심한 가뭄으로 목살을 앓고 있는 상황이다. 미국의 경우 지난 3년간 지속된 극심한 가뭄으로 주면적의 58%가 비정상적(Exceptional) 가뭄지역으로 선포되었으며, 에티오피아는 역사상 최악의 가뭄을 맞아 지난 80년대 대기근 상황이 도래할 가능성이 커져 국제사회의 우려가 커지고 있다. 또한 3대 쌀 수출국인 베트남에 최대 곡창지대인 메콩강 지역에도 심각한 수준의 가뭄으로 메콩강의 수위가 1920년대 이후 가장 낮은 수준으로 떨어지면서 이 일대 벼농사가 타격을 받고 있다.

2014년 우리나라의 경우 서울, 경기, 충청의 강우량이 평년대비 50~61% 수준으로 적은 양의 강수로 인해 생활용수가 제한급수 되었으며 강원, 경기, 충청일부가 가뭄피해에 시달렸다. 2015년의 경우, 강수량이 평년에 비해 절반 수준에 미치지 못하였으며, 소양강댐의 수위는 152.24m로 1978년의 151.93m를 기록한 이후 최저 수위에 도달하였다. 마찬가지로 북한의 경우 계속된 가뭄으로 곡물 생산량이 크게 줄어 UN 산하 식량농업기구(FAO)가 식량 부족국가로 지정되었다.

본고에서는 이토록 2014~2015년 유난히 전 세계가 극심한 가뭄에 의한 피해를 보면서 현재 수문학적 가뭄감시의 현황과 특징을 분석하고 미래의 수문학적 가뭄감시 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 수문학적 가뭄감시 방법

### 2.1 가뭄 및 물부족

가뭄은 홍수와 더불어 수문학 분야에서 연구하는 주요한 자연재해중 하나지만, 홍수와 같이 크기, 지속기간, 시작과 종료 등의 상황을 정량적으로 정의하는 것이 매우 어렵다. 여러 가지의 이유가 있겠지만, 우선 가뭄을 정의하기 위한 수문-기상학적 변수와 사회경제적인 요소가 관점에 따라 매우 다르고 다양하기 때문이기도 하고 또한 가뭄으로 인하여 발생하는 물부족 현상과 맞물려서 가뭄을 학술적으로 단정해서 하나의 정의를 내리기는 매우 어려운 자연현상이다. 이 부분이 바로 가뭄연구를 어렵게 하는 부분이고 가뭄이 발생한 후의 가뭄피해 조사에 있어서도 매우 큰 혼란을 야기하는 원인이기도 하다.

가뭄에 대한 여러 가지 정의가 있겠지만, Mishra and Singh(2010)은 서로 다른 분야의 관점에서 본 가뭄을 다음과 같이 다양하게 정의하였다.

- ① 세계기상기구(WMO, 1986)에서는 “가뭄이란 강수량이 지속적이고 연속적으로 부족한 현상”으로 정의하고 있으며 다분히 기상학적 관점에서 단순하게 정의한 것으로 이해할 수 있다.
- ② UN의 Convention to Combat Drought and Desertification(UN Secretariat General,1994)에서는 “가뭄이란 자연적으로 발생하는 현상으로서 강수량이 예년 평균강수량에 비해서 심하게 부족하여 지역 전체가 수문학적인 불균형상태를 초래하고 이로 인하여 지상작물의 생육에 심각한 영향을 미치는 상태”로 정의하고 있다.
- ③ 세계식량기구(FAO, 1983)에서는 “가뭄재해란 농작물이 수분의 부족으로 인하여 정상적인 수확에 실패한 상태”로서 농업적 관점 및 재해적 관점에서 가뭄을 정의하고 있다.
- ④ 사전적 의미로서의 가뭄은 “오랫동안 계속하여 비가 내리지 않아 메마른 날씨”로 정의하고 있으며 오래도록 비가 오지 않는 날씨를 이르는 ‘가뭄’은 ‘가물다’라는 동사에서 어간형 파생으로 이루어진 명사로 정의하고 있다.
- ⑤ Encyclopaedia of Climate and Weather(Schneider, 1996)에서는 “가뭄이란 지역의 예년평균 강수량보다 강수량이 부족한 일정기간(달, 계절, 연도)”으로 기간의 관점에서 가뭄을 정의하고 있다.
- ⑥ 무강수일수 관점에서 정의된 가뭄으로는 “무강수 일수가 15일 이상”인 경우를 기상학적인 가뭄으로 정의하지만 무강수일수만으로 가뭄을 정의하기에는 지역적인 기상환경의 편차를 고려할 때 무리가 있음을 알 수 있다.

⑦ Byun(2009)은 가뭄을 정의함에 있어서 “강수의 부족이 평소에는 없던 재해를 유발하였을 때”를 가뭄으로 정의하였으며 재해가 유발되지 않는 것은 가뭄이라고 할 수 없다고 정의하고 있다.

이상의 가뭄에 대한 다양한 관점에서 정의의 검토하면, 가뭄을 현상과 기간으로 분리하여 정의하고 있으며, 가뭄을 정의하기 위한 기준을 무엇으로 하느냐(강수량, 유출량, 농작물, 재해)에 따라서 가뭄의 정의가 달라지는 것을 알 수 있다. 하지만 근본적인 공통의 의미로 볼 때, 가뭄이란 절대적인 수치이하의 강수량 또는 수문량(유출량, 저수량 등)만으로는 정의될 수 없으며 예년평균값에 비하여 적은 또는 부족한 상태가 지속됨으로서 궁극적으로 수문학적으로든 농업적으로든 물부족이라는 재해를 유발할 때 비로소 가뭄으로 정의될 수 있다.

일반인의 경우 가뭄과 물부족을 동일한 개념으로 정의하고 있으나 가뭄과 물부족은 다른 개념이다. 가뭄의 근원은 강수량 부족에 의해서 발생하는 반면 물부족은 물수요가 공급가능량을 초과함에 따라 발생하게 된다. 예를 들어 현재 가뭄 상태가 아닌 경우 물수요 급증하여 하천수위, 지하수 수위, 저수지 수위가 예년 평균에 비해서 감소한 경우만으로 이를 수문학적 가뭄상태로 평가하는 것은 다소의 문제가 있기 때문에 가뭄과 물부족은 분리해서 생각해야 한다.

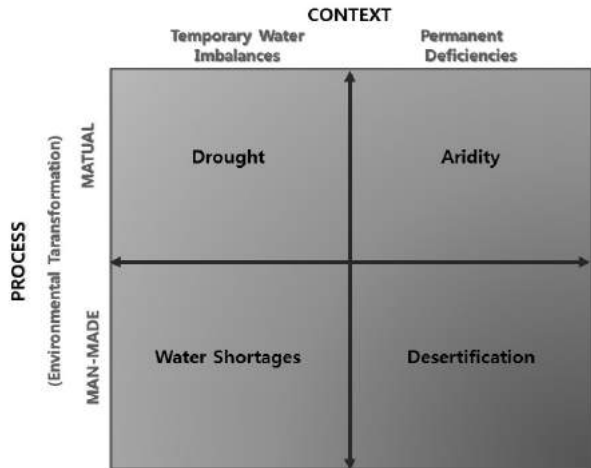


그림 1. 가뭄과 물부족의 개념적 차이

## 2.2 수문학적 가뭄 모니터링

가뭄에 의한 영향과 피해가 유발되는 분야에 따라서 가뭄은 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄으로 분류한다. 가뭄의 영향 그림 2와 같이 강수부족에 의한 기상학적 가뭄이 먼저 발생하며, 기상학적 가뭄에 의한 건조기간이 길어질수록 토양 함수량이 감소하게 된다. 토양 함수량이 감소하게 되면 농업적 가뭄이 발생하게 된다. 또한 농업적 가뭄이 장기화 될 경우 지표수(저수지나 호수)와 지표하의 물(지하수)의 감소에 따른 하천유출이 감소하게 되면 수문학적 가뭄이 발생된다. 이처럼 수문학적 가뭄은 가뭄에 의한 영향이 가장 늦게 나타나고 가뭄종류 후 가뭄 회복기간이 가장 긴 가뭄상태를 말한다.

전통적인 수문학적 가뭄감시 방법은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 첫째는 가뭄인자를 적절하게

과학적으로 합성하여 수학적으로 나타낸 가뭄지수를 이용한 평가방법이 있다. 두 번째로는 저수량, 유출량 등과 같이 수문과 직접적으로 관계가 있는 요소들의 예년평균과 가뭄이 발생한 연도의 평균을 비교하여 평가하는 방법이다. 세 번째로는 일정기간 내의 물 보유량의 변화를 통한 물수요와 공급가능량을 고려한 물수지 분석을 통하여 수문학적 가뭄상황(물부족 상황)을 평가하는 방법이 있으며, 마지막으로 위성영상 자료를 활용한 가뭄평가 방법이 있다.

각각의 방법별로 장, 단점이 있으며, 경우에 따라서는 자연적인 가뭄상황을 모니터링하는 방법이 있는 반면에 물부족 상황을 모니터링 하는 방법이 있기도 하다.

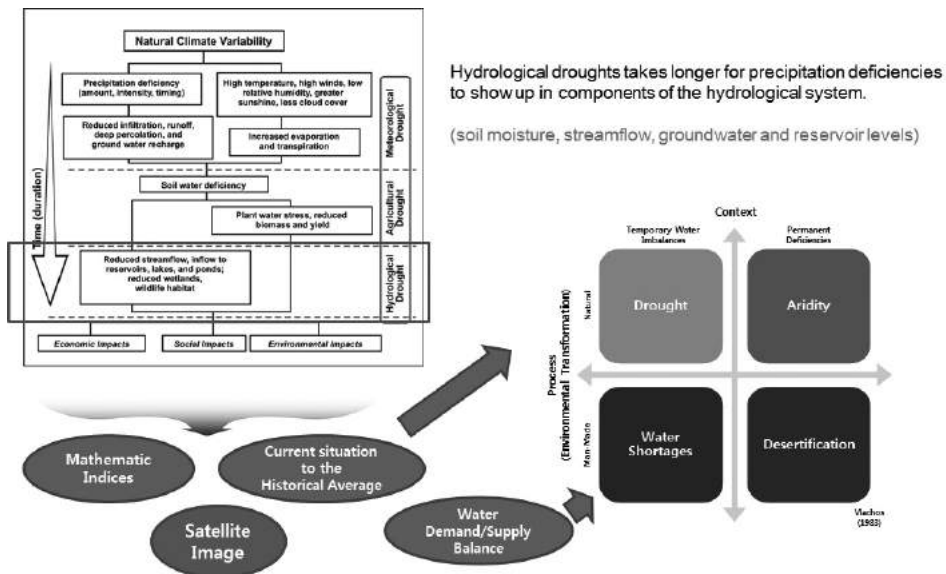
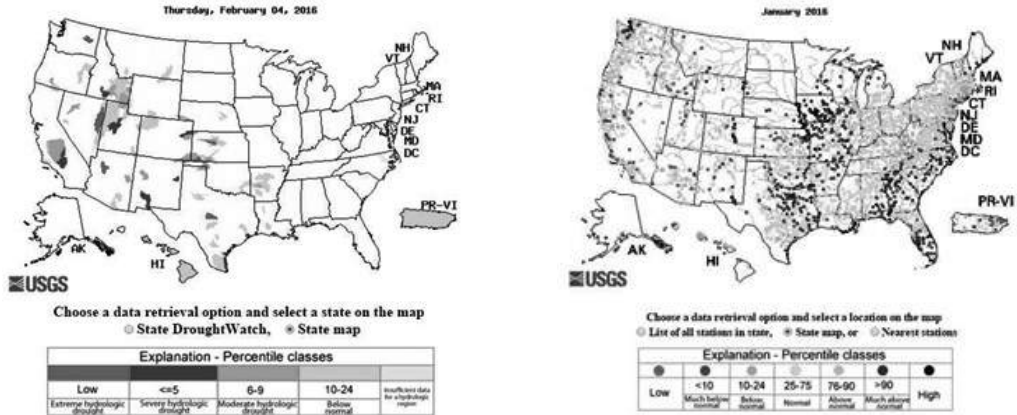


그림 2. 수문학적 가뭄 평가방법

### 3. 수문학적 가뭄감시 사례

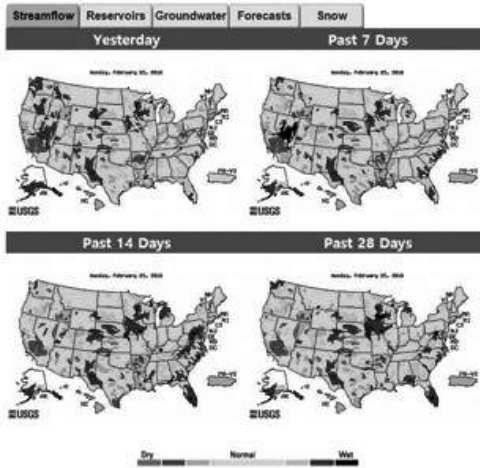
#### 1) 국외 사례

미국의 USGS(U.S Geological Survey)에서 운영하고 있는 U.S. Water Monitor에서는 그림 3과 같이 현재의 하천 유출량 자료를 과거 예년평균과 비교하여 미국 전역의 공간적인 수문학적 가뭄상황을 제공하고 있다. 특히, 하천유량 뿐만이 아니라, 저수지 저류량, 지하수량 등의 수문학적 요소들에 대해서 예년 평균대비 현재의 상황을 월별로 제시함으로써 주별, 수문요소별 월단위의 수문학적 가뭄상황을 정확하게 제공하고 있으며, 이 자료는 US Drought Portal을 통해서도 제공되고 있다.



a) Map of below normal 7-day average streamflow compared to historical streamflow for the day of year

b) Map of monthly streamflow compared to historical streamflow for the month of year



c) U.S. Water Monitor

그림 3. USGS Hydrological Drought Watch

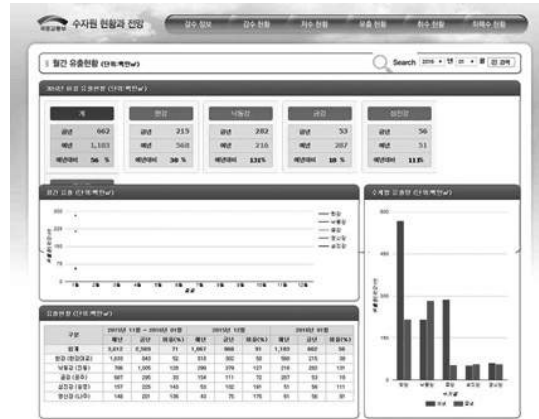
## 2) 국내 사례

### 가) 한강홍수통제소 갈수정보시스템

국내 수문학적 가뭄 모니터링의 경우 한강홍수통제소에서 운영하고 있는 갈수전망 시스템이 있다. 전국 하천의 유황을 5가지의 단계로 나누어 단계별로 상황을 모니터링을 실시하고 있으며 그림 4와 같이 월간 유출 및 저수지현황을 5대강 유역별로 분리하여 예년과 금년의 유출 및 저수지 현황을 모니터링하고 있다. 즉, 미국의 USGS와 동일한 방법에 의해서 수문학적 가뭄정보를 제공하고 있다고 보면 된다.



a) 가뭄전망 시스템



b) 월간 유출현황



c) 월간 저수지현황

그림 4. 한강홍수통제소 가뭄전망 시스템

### 나) K-water 가뭄정보시스템

K-water 가뭄정보시스템은 가뭄대책 수립을 위한 기초자료 제공을 목적으로 가뭄관리시스템에서 산정한 가뭄지수모니터링 결과와 가뭄전망 및 다양한 가뭄관련 정보를 웹을 통해 실시간으로 제공하는 종합정보 시스템으로 그림 5와 같이 구성되어있다. 가뭄평가는 다양한 종류의 가뭄지수 생산하고 이를 활용하여 가뭄모니터링을 수행하고 있으며, 이 중에서도 수문학적 가뭄지수로서 MSWSI(Modified Surface Water Supply Index), SMI(Soil Moisture Index), WADI(Water Supply Drought Index) 등을 산정하여 수문학적 가뭄상황을 모니터링하고 있다.

즉, K-water 가뭄정보시스템은 한강홍수통제소와 달리 가뭄지수를 활용하여 수문학적 가뭄상황을 모니터링하고 있다.



a) 가뭄정보시스템 메인



b) 가뭄정보시스템 구성

그림 5. K-water 가뭄정보시스템

● MSWSI

MSWSI는 복잡한 지형조건과 다양한 물공급 특성을 가진 우리나라의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 SWSI를 보완한 지수로서 그림 6과 같은 개념으로 산정된다.

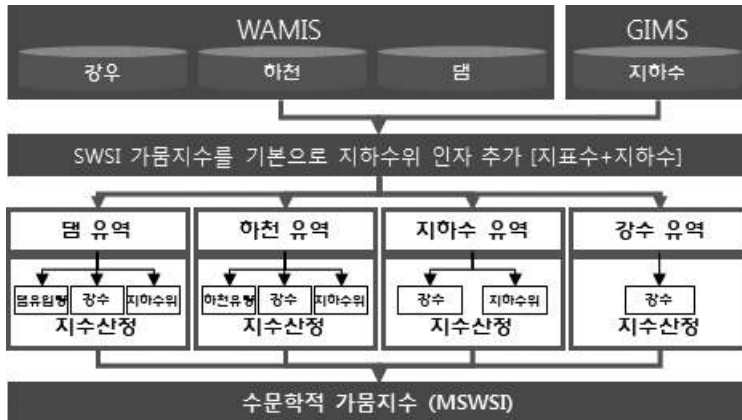


그림 6. MSWSI 산정개념

● SMI

SMI는 물수지분석에 의한 토양수분량을 산정하여 가뭄상황을 모니터링하기 위한 지수로서, 가뭄이 가지는 다양한 특성을 세 가지의 특성 치로 구분하며 기본수준에 대한 부족분에 대한 지속기간, 크기, 강도로 분류하여 강수량, 기온, 풍속, 습도, 토양물리 특성자료를 이용하여 식생에 영향을 주

는 가뭄을 판단하기 위하여 개발되었다.

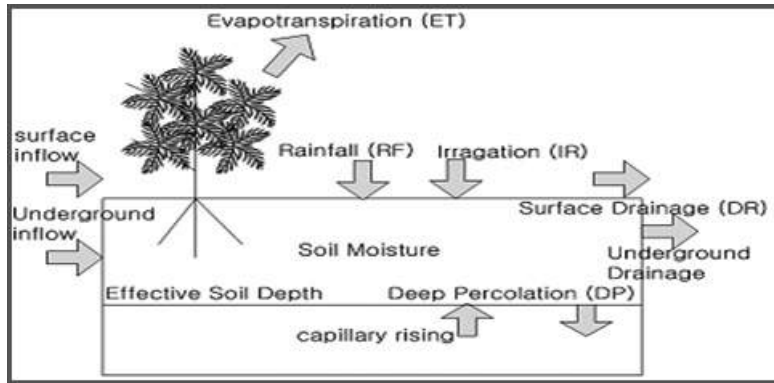


그림 7. SMI 산정 개념

● WADI

WADI는 실제 용수 공급에 따른 가뭄을 정의하기 위해 개발된 가뭄 지수로서 수리시설물별 표준화를 통해 산정된다. 하천관측소의 전국 표준화 내삽 정보를 가장 하단에 구축하고, 댐 상류유역, 농업용 저수지의 내삽에 따른 결과가 표현된 농경지역과 수혜구역, 지하수위의 표준화 정보가 표현된 집수암거 수혜 구역과 취수원의 수위로 표준화하여 표현된 시가지역 순으로 중첩하여 가뭄단계를 표현한다.



그림 8. WADI



#### 4. 물부족 상황을 고려한 수문학적 가뭄 모니터링 방안

K-water에서는 2015년 국가가뭄정보 분석센터를 개설하고 선제적 가뭄대응체계 구축 중에 있으며, 국가가뭄정보 분석센터에서는 전국단위 수문학적가뭄 모니터링 시스템 구축·운영을 위해 수원별 가뭄판단기준을 설정하여 가뭄감시정보를 생산할 계획이다.

생, 공용수에 대한 물부족상황을 고려한 수문학적 가뭄모니터링을 위하여 K-water가 공급하는 시설(댐, 광역)을 중심으로 공급지역에 대하여 읍, 면, 동 단위로 가뭄을 모니터링할 계획이며 급수인구, 수원현황, 공급가능일수 등을 고려하여 가뭄판단기준을 마련하여 물부족상황 및 수문학적 가뭄상황을 모니터링할 계획이다. K-water가 운영중인 다목적댐 및 용수전용댐에 대해서는 용수공급 조정기준을 마련하여 수원지역의 급수인구, 용수수요와 현재의 저수량을 동시에 고려하여 가뭄을 모니터링하고, 하천의 경우 국가하천은 국토부 한강 홍수통제소에서 서비스하고 있는 국가하천 갈수현황 정보 활용하여 가뭄판단 기준을 제공할 계획이다. 또한 지방하천의 경우 취수형태(표류수, 복류수)에 따라, 하천 수위 유행분석 결과를 활용 단계별 판단기준을 적용할 계획이다.

미급수지역에 대해서는 수문자료가 전무하여 기상자료를 이용한 가뭄지수를 판단기준으로 사용할 계획이다. 지자체에서 관리하는 저수지의 경우에는 다목적댐 가뭄대응 용수공급 조정기준 설정 방법과 동일하게 하는 방안과 둘째로 과거 월별 저수량자료를 통계분석하여 가뭄판단기준 설정하는 방안을 고려하여 기준을 마련 중이다.

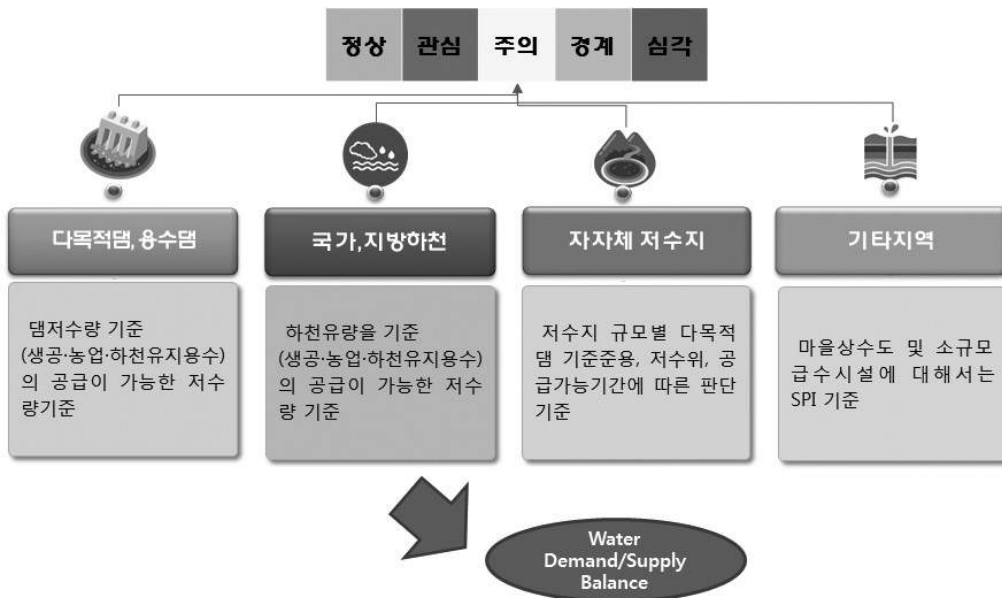


그림 9. 물부족 상황을 고려한 수문학적 가뭄판단 기준

## 5. 위성자료 활용을 통한 수문학적 가뭄감시 방법

현재의 전통적인 가뭄감시는 지점(관측소)기반의 자료를 중심으로 이루어지고 있지만 미래 가뭄 모니터링은 지점자료가 아닌 위성을 통해 생성된 격자기반의 분포형 자료를 활용하여 광역의 분포형 가뭄감시가 이루어질 수 있다. 위성은 지점 관측의 한계점을 극복할 수 있으며, 광역관측 및 미세측 유역에 대한 관측이 가능하다.

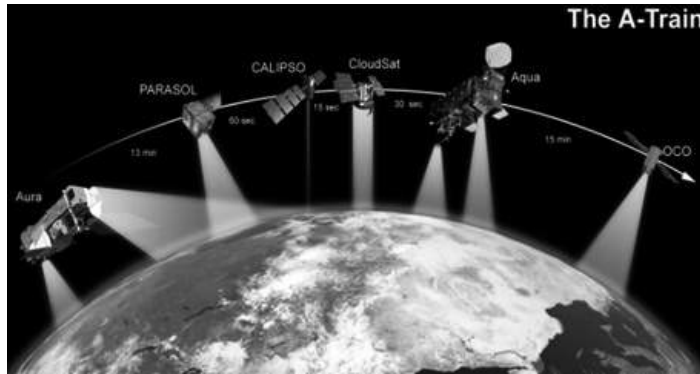


그림 10. 다중 위성정보기반의 가뭄감시 기술

위성자료 기반의 가뭄감시 기술은 미국에서 실용화되고 있으며 NASA와 USGS, USDA, NDMC 등이 협업하여 이미 오래전부터 위성자료기반의 가뭄감시체제가 구축되어 있다. 그림 11과 같이 USGS/NDMC는 AVHRR위성을 이용한 VegDRI를 산정하여 가뭄을 모니터링하고 있으며, NOAA의 경우 USGS/NDMC와 동일하게 AVHRR위성을 통해 NDVI를 산정하여 가뭄을 모니터링하고 있다. NASA의 경우 GRACE 위성을 이용하여 토양수분을 모니터링하여 농업적/수문학적 가뭄감시 기술에 활용하고 있다.



a) AVHRR(NDVI)-USGS/NDMC

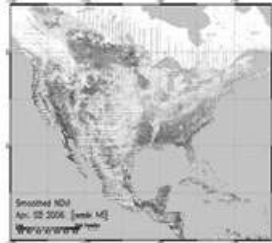


b) Radar-NWS

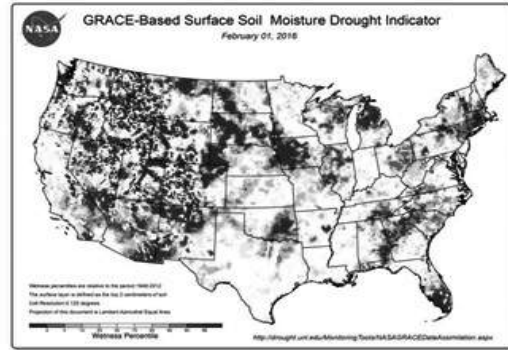
Vegetation Health Indices

The National Oceanic and Atmospheric Administration's Center for Satellite Applications and Research (STAR) produces vegetation health indices, drought indices, and fire risk for the U.S. and other select countries, all continents except Antarctica, and the world.

Go to Site



c) AVHRR(NDVI)-NOAA



d) GRACE-NASA

그림 11. 미국의 위성자료기반 가뭄모니터링 사례

국내에서는 아직 위성을 이용한 가뭄감시는 초보단계에 있는 실정이며, “국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발” 연구단의 2세부 연구에서 위성을 활용한 가뭄감시 연구가 활발히 진행되고 있다. 그림 12는 현재 진행되고 있는 위성을 기반으로 가뭄감시 및 예측 기술개발 연구로서 TRMM 및 GPM 위성으로부터 산정된 강수량자료를 활용하여 기상학적 가뭄감시 기술을 개발하고, Aqua/Terra 위성으로부터 받은 MODIS 영상을 통해 농업적/수문학적 가뭄지수를 개발하고 있다. 더우기 확률론적 중장기 가뭄 예측 및 WRF-LST기반의 수문학적 상세 가뭄정보 생산을 통한 단기 및 중장기 가뭄 예측을 통해 한반도 가뭄 감시 및 전망을 실용화하는 것을 목표로 하고 있다.

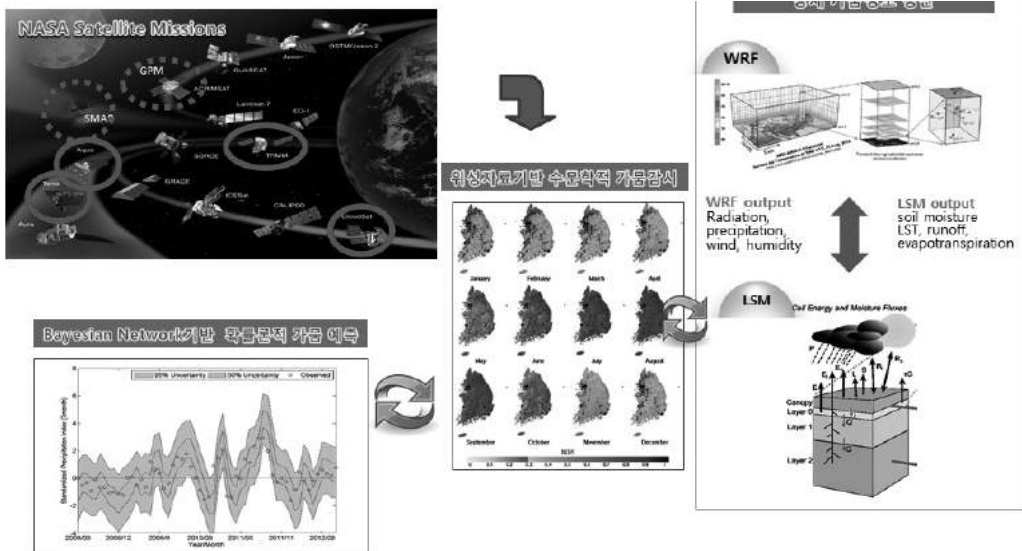


그림 12. 위성자료 기반의 한반도 가뭄감시 및 전망 기술

## 6. 결론 및 제언

시간이 지날수록 가뭄은 전세계 적으로 심각한 피해를 주고 있으며 우리나라 또한, 미래로 갈수록 홍수에 의한 피해보다 가뭄에 의한 피해가 더욱 심해질 것이라는 예상이 지배적이다. 이러한 가뭄피해를 최소화하기 위해서는 실시간으로 가뭄을 감시하고 예측하여 대응방안을 마련해야 한다. 이에 본고에서는 가뭄피해를 최소화하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

첫째로 분야별 가뭄판단기준 표준화를 통해 각 기관별로 통합된 가뭄대응 단계를 구축하여 효율적인 가뭄대응이 필요하다. 둘째는 위성기반 가뭄정보 및 빅데이터 기반의 현장가뭄 상황 모니터링 기술개발로 미세측 유역에 대한 실시간 관측 및 지점기반의 관측자료의 한계점을 보완한 가뭄정보를 생산하고 빅데이터를 통한 실제 가뭄 현장의 가뭄상황을 연계하여 정확한 가뭄모니터링이 이루어져야 한다. 셋째 중장기 가뭄전망 및 현재 가뭄영향정보(Drought Impact Report) 생산기술 개발은 중장기 가뭄전망 및 현재 가뭄 영향정보 생산기술을 통해 가뭄발생전후의 대응책 마련을 위해 필요하다.

특히, 각 기관별로 맞춤형 가뭄모니터링이 이루어져야 하며 이를 통해 생산된 다양한 가뭄정보를 국가가뭄정보 분석센터를 통해서 통합된 가뭄정보가 국민안전처로 제공되어 국민안전처에서 가뭄상황 및 예경보등을 발표함으로써 효율적인 가뭄대응체계 및 가뭄관리체계가 구축되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(15AWMP-B079625-02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

Byun, H.R. (2009). "Comparative analysis of the drought diagnosis and related systems." Magazine of Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, KOSHAM, Vol. 9-2, pp. 7-18.

Food and Agriculture Organization, (1983) Guidelines: Land evaluation for Rainfed Agriculture. FAO Soils Bulletin 52, Rome.

Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010) "A review of drought concepts." Journal of Hydrology,

Vol. 391, Issues. 1~2, pp. 202~216

Schneider, S.H. (Ed.), 1996. Encyclopaedia of Climate and Weather. Oxford University Press, New York.

UN Secretariat General. (1994). United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa. Report, No. 33480, UN, Paris.

World Meteorological Organization (1986). Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974~1985. WMO, Geneva, pp. 118.

한국수자원공사 (2005). 가뭄관리모니터링체계 수립. No. 11-B500001-00056-01