웹 기반 GIS를 이용한 실시간 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수 산정

Real Time Estimation of Soil Moisture Drought Index in Standard Hydrologic Unit Watershed using Web-based GIS

남원호*, 최진용, 유승환***, 장민원******

Won-Ho Nam, Jin-Yong Choi, Seung-Hwan Yoo, Min-Won Jang

요 지

가뭄은 강우의 시기별·지역별 불균형으로 인해 발생하며 한 계절에서 1년, 길게는 수년 동안 지속되는 시간 특성을 가지면서 그 시작과 끝을 명확하게 정의하기가 힘들고 지속적으로 누적된 효과가 천천히 나타난다. 이러한 가뭄의 관리를 위해서는 시간적인 가뭄의 발생과 공간적인 가뭄의 분포를 파악하는 것이 중요하며, 가뭄의 진행상황이나 심도를 정의할 수 있는 객관적인 기준을 통해 수행할 수 있을 것이다. 토양수분가뭄지수(Soil Moisture Drought Index)는 식생에 영향을 주는 가뭄을 판단하기 위한 지표로서 강수량, 기온, 풍속, 습도, 토양물리 특성자료를 바탕으로 산정된다. 본 연구에서 사용한 토양수분가뭄지수는 가뭄 상태를 유효수분백분율의 50%이하일 때로 정의하고, 지속기간(duration), 크기(magnitude), 강도(severity)의 세 가지 기준을 이용하여 가뭄을 분석하였다. 이 지수는 일별 모의가 가능하고 자연 상태의 가뭄표시, 선행적인 가뭄제시, 단기적인 가뭄평가 이라는 장점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 웹 기반 GIS를 이용하여 실시간으로 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수를 산정하고 이를 통해 가뭄을 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 웹 기반 GIS, 실시간, 표준유역, 토양수분가뭄지수

1. 서론

가뭄은 강우의 시기별·지역별 불균형으로 인해 발생하며 한 계절에서 1년, 길게는 수년 동안 지속되는 시간 특성을 가지면서 그 시작과 끝을 명확하게 정의하기가 힘들고 지속적으로 누적된 효과가 천천히 나타난다. 이러한 가뭄의 관리를 위해서 가장 필요한 요소는 시간적인 가뭄의 발생과 공간적인 가뭄의 분포를 파악하는 것이며, 가뭄의 예측 및 극복을 위해서는 가뭄을 정량화하여 지수로 나타내는 가뭄지수를

* 정회원·서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정·E-mail : wh531@snu.ac.kr
** 정회원·서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 조교수·E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
*** 비회원·서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정·E-mail : crom97@snu.ac.kr
**** 비회원·경상대학교 지역환경기반공학과 조교수·E-mail : mwjang@gnu.kr

이용하여 정확한 가뭄의 원인분석과 가뭄의 진행상황이나 강도(intensity)를 정의할 수 있는 객관적인 기준을 이용해야 한다. 우리나라에서 가뭄과 관련된 과거의 연구동향은 주로 외국에서 개발된 가뭄지수를 국내의 수문, 기상학적 자료를 이용하여 산정함으로써 여러 가지 형태의 가뭄지수의 적용성에 대하여 검토되었으며(윤용남 등, 1997; 김상민 등, 1999; 류재희 등, 2002), 가뭄관리에 있어 가뭄모니터링 시스템 구축의 중요도에 비해 실제로 가뭄을 지속적으로 모니터링하기 위한 시스템의 개발(이동률 등, 2003)이나 가뭄의 전망 및 예측과 관련된 연구(이주헌 등, 2006)는 상대적으로 미약했던 것으로 분석된다.

외국의 경우, 미국은 1995년부터 국립가뭄경감센터(National Drought Mitigation Center, NDMC)를 설치하여 가뭄관련정보 및 미국 전역의 가뭄 모니터링과 예보, 가뭄경감대책 수립 등의 정보를 제공하고 있다. 또한 미국전역에 걸쳐 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standardized Precipitation Index), CMI(Crop Moisture Index) 등의 가뭄지수를 이용하여 가뭄상황에 대한 정보를 주단위로 산정하여 웹사이트를 통해 제공하고 있으며, 미국 국립기상청(National Weather Service, NWS)의 기후예측센터(Climate Prediction Center, CPC)와 연계하여 각종 가뭄지수의 예측을 통한 가뭄전망(Drought Outlook) 결과도 주단위로 제공하고 있다(http://drought.unl.edu/dm/monitor.html). 현재 국내에서 가뭄을 모니터링하며 가뭄과 관련된 정보를 제공하는 시스템으로는 기상청의 가뭄정보센터(http://www.kma.go.kr)에서 가뭄과 관련된 기초적인 정보를 인터넷 상에서 제공하고 있으며, PDSI와 십분위지수(Deciles)를 비롯하여 최근의 강수현황 및 댐수위 정보들을 제공하고 있다. 또한 한국건설기술연구원의 통합수자원평가계획 시스템 개발(http://www.drought.re.kr)에서는 PDSI, SPI를 비롯하여 표준물공급능력지수(Standard Water Supply Capacity Index, SWSCI), 지표수물공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI) 등의 가뭄지수의 산정 결과를 월별, 지역별로 세분화하여 전국가뭄현황을 제공하고 있다. 하지만 PDSI와 SPI, Deciles 등은 외국에서 개발된 장기간의 기상자료를 이용하는 기상학적 가뭄지수로써 우리나라 실정에 맞지 않으며, 일별모의가 불가능하여 가뭄의 진행상황을 실시간으로 판단하기 어렵다. 또한 PDSI의 경우 장기간의 가뭄분석을 위주로 개발되었기 때문에 빠르게 발생하는 가뭄의 경우, 즉 단기간의 가뭄현상을 분석하기에는 한계가 있으며, SPI와 Deciles의 경우 식생이나 작물에 영향을 주는 토양수분을 고려하지 않는다. 이에 기존의 가뭄지수의 단점을 보완한 우리나라 실정에 맞는 가뭄지수 개발에 대한 연구가 진행되었으며, 김옥경 등(2006)은 Runs 이론을 적용한 토양수분 물수지모형을 이용하여 토양수분지수(Soil Moisture Index)를 정의하였다.

본 연구에서는 Web 기반 GIS를 이용하여 한반도 전역에 대한 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수를 산정하였으며, 가뭄현황도 작성 및 가뭄정보 분석을 위한 가뭄 모니터링 시스템을 개발하여 실시간으로 웹을 통하여 일반인들에게 제공할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

2. 토양수분가뭄지수의 산정

본 연구에서는 농업적 가뭄의 평가에 효과적인 지표로서, 토양수분 물수지모형과 Runs 이론을 이용한 SMI를 사용하였다. SMI는 강수량, 기온, 습도, 풍속 등의 기상자료 및 토양의 물리적 특성자료(포장용수량, 위조점, 유효토층)를 사용하여 각 토양별 토양수분을 추정할 수 있도록 개발되었으며, 가뭄의 기준으로써 유효수분의 부족분에 대한 지속기간(duration), 크기(magnitude), 강도(severity)를 이용하여 표 1과 같이 가뭄심도를 정의하였다. SMI는 일 단위 기상자료를 사용하여 일별모의가 가능하며, 충분한 강우에 의한 토양수분의 습윤상태로 전환을 효과적으로 반영할 수 있어 단기 가뭄 평가에 효과적으로 사용될 수 있다(김옥경 등, 2006). 따라서 SMI 가뭄지수가 가뭄을 정량적으로 모니터링 하는데 유용한 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. SMI Classification (김옥경 등, 2006)

Severity (X)	SMI	Drought stage
$X < \mu - 2\sigma$	- 1	mild drought
$\mu - 2\sigma \le X < \mu - 1\sigma$	- 2	moderate drought
$\mu - 1\sigma \le X < \mu + 1\sigma$	- 3	severe drought
$\mu + 1\sigma \le X < \mu + 2\sigma$	- 4	very severe drought
$\mu + 2\sigma \le X$	- 5	extreme drought

※ μ : mean, σ : standard deviation

표준유역 단위의 SMI를 산정하기 위하여 사용된 자료로는 우리나라 전 지역을 대상으로 76개 기상관측소의 기상자료를 사용하였으며, 이를 바탕으로 Thiessen의 면적가중법을 사용하여 표준유역 단위별 강우량과 증발산량을 산정하였다. 또한, 토양의 물리적 특성자료인 유효토심, 포장용수량(field capacity), 위조점(wilting point) 및 수문학적 토양군을 산정하기 위해 농촌진흥청의 1 : 50,000 개략토양도와 환경부의 중분류 토지피복지도를 사용하여 우리나라 전역에 대한 토양자료를 구축하였으며, 이를 이용하여 우리나라 813개(토양특성자료가 없는 유역은 제외하였음) 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수를 산정하였다.

3. 웹 기반 가뭄모니터링 시스템 구축

다양한 기상자료와 토양자료를 이용하여 산정한 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수는 물 관리자로부터 일반 대중들에 이르기까지 많은 이용자들이 손쉽게 접근할 수 있는 Web 환경의 정보 제공 시스템으로 구축하였다. 본 연구에서 구축된 가뭄모니터링 시스템은 http://ruralwater.snu.ac.kr 에서 제공되고 있으며, 기상청에서 기상자료를 취득하여 가뭄지수를 산정하고 가뭄현황도를 작성한다. 또한 웹 기반으로 구현되어 사용자는 효과적으로 유역별·기간별 토양수분의 변화 및 가뭄현황 등을 인터넷을 통해 실시간으로 제공한다.

그림 1은 본 시스템의 가뭄현황도를 이용하여 2006년 가을에 발생했던 가뭄현황을 나타낸 것이다. 2006년 9월부터 중부 지방에 약한 가뭄 상태가 나타났으며, 가뭄이 해갈되지 않고 지속되어 10월 21일에는 전체 유역 중 90% 이상이 가뭄 상태가 나타났다. 특히, 경기도 북부지역과 중부지역에서 심한 가뭄과 매우 심한 가뭄 상태가 나타났다. 11월에는 강원도 지역과 남부지역에서는 강수로 인하여 가뭄이 해소되는 양상을 보였지만, 중부지역에는 가뭄이 더 극심해진 것을 알 수 있었다. 그림 2는 본 시스템의 이용하여 충주댐 유역의 유역번호 100309인 표준유역의 2006년 9월 1일부터 2006년 12월 31일까지의 토양수분 변화 양상을 나타낸 것이다. 토양수분량은 9월부터 점점 감소하다가 2006월 9월 17일, 10월 22일, 11월 27일 내린 강우로 토양수분량이 회복되었다. 하지만 강우량이 평균 17 mm 로 매우 적어 생장저해수분점 이상의 토양수분을 회복하기에는 충분하지 못하여, 이 지역은 극심한 겨울 가뭄을 겪은 것으로 판단된다.

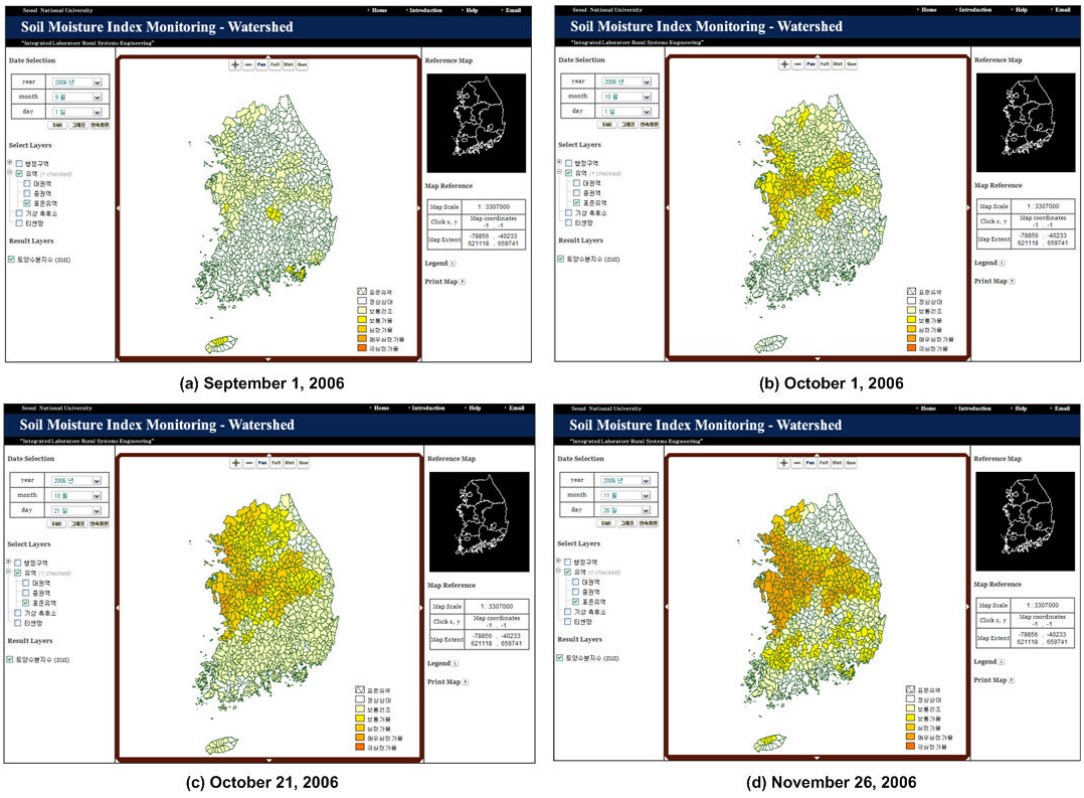

그림 1. Results web page of SMI in 2006 during the periods of autumn droughts

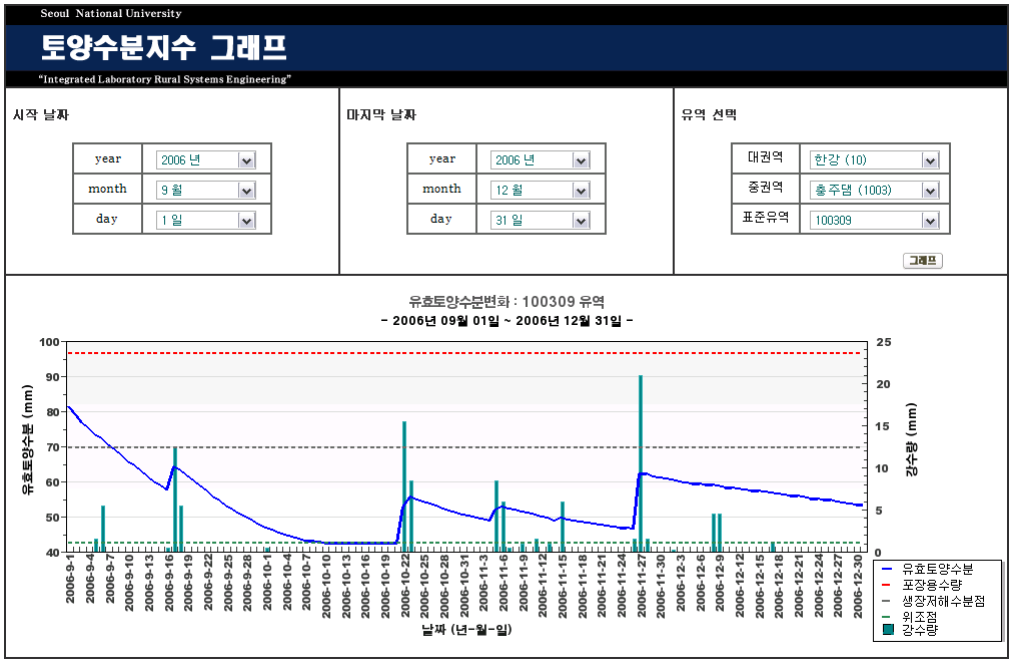

그림 2. Results web page of SMI graph at watershed number 100309

4. 결론

가뭄 계획에서 중요한 요소는 가뭄 모니터링이며, 이는 가뭄지수를 이용하여 가뭄단계를 설정하고 가뭄상황의 정확한 시간적·공간적 분석에 의해 수행될 수 있다. 또한 이러한 가뭄 정보들을 물 관리자 뿐만 아니라 일반 대중들에게 신속하고, 손쉽게 접근할 수 있는 시스템의 구축이 필요하다. 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 기상자료와 토양의 물리적 특성을 이용하여 우리나라 813개 표준유역 단위별 토양수분가뭄지수를 산정하였다. 일별모의가 가능한 토양수분가뭄지수는 Web 기반의 GIS를 이용하여 실시간으로 사용자에게 제공하였으며, 사용자는 유역별·기간별 토양수분의 변화 및 가뭄현황 등을 인터넷을 통해 손쉽게 접근할 수 있다. 본 시스템을 이용하여 2006년 가을에 발생했던 가뭄현황을 살펴본 결과, 9월부터 가뭄상태가 지속되었으며, 10월에는 전국 대부분의 유역에서 가뭄 상태가 나타났다. 특히, 중부지역은 강우로 인한 가뭄의 회복이 충분하지 못하였으며, 11월까지 극심한 가뭄이 지속된 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 가뭄모니터링 시스템은 효과적인 장·단기 사전가뭄대책을 위한 기반을 제공하며, 기상 및 강우의 중장기 예측이 가능해질 경우에는 가뭄예보 수단으로서의 활용가능성이 클 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기상청, http://www.kma.go.kr.

2. 김상민, 박승우(1999). 우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교, 한국농공학회지, 제41권 제5호, pp. 43-52.

3. 김옥경, 최진용, 장민원, 유승환, 남원호, 이주헌, 노재경(2006). 토양수분지수를 이용한 유역단위 가뭄평가, 한국농공학회논문집, 제48권 제6호, pp .3-13.

4. 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남(2002). 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구, 한국수자원학회논문집, 제35권 제4호, pp. 397-410.

5. 윤용남, 안재현, 이동률(1997). Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회논문집, 제30권 제4호, pp. 317-326.

6. 이동률, 이대희, 강신욱(2003). 가뭄 경보기준과 모니터링 시스템, 한국수자원학회논문집, 제36권 제3호, pp. 375-384.

7. 이주헌, 정상만, 김재한, 고양수(2006). 가뭄모니터링 시스템 구축: Ⅱ. 정량적 가뭄 모니터링 및 가뭄전망기법 개발, 한국수자원학회논문집, 제39권 제9호, pp. 801-812.

8. 통합수자원평가계획 시스템 개발, http://www.drought.re.kr, 한국건설기술연구원.

9. National Drought Mitigation Center, http://drought.unl.edu/dm/monitor.html.