

유역수문해석을 위한 습윤/건조 모니터링 기술



신 사 철 >>

안동대학교 토목공학과 부교수
scshin@andong.ac.kr



고 익 환 >>

한국수자원공사 수자원환경연구소 소장
ihko@kwater.or.kr



황 필 선 >>

한국수자원공사 물관리센터 물관리팀 팀장
jesus@kwater.or.kr

자원의 양적 불균형에 따른 문제점을 탐지하고 대비하기 위해서는 무엇보다도 신속한 기상·수문 정보가 제공되어야 한다. 또한 이러한 정보를 이용하여 예측 및 모니터링이 이루어지기 위해서는 즉각적이고 연속적인 정보의 수집이 요구된다. 유역차원에서의 정보는 비교적 넓은 지역을 대상으로 하므로 종래의 지점에서의 정보 수집방법보다는 공간적 기법과 원격탐사에 의한 방법을 이용하는 것이 공간적 질적 불균형이 없는 연속적인 자료를 수집하는 효과적인 방법이다.

수자원관리기술을 고도화하려면 현재 가용한 모든 자료와 최신 기법을 망라하는 선진화 기법이 필요하다. 본고는 유역의 기상·수문 모니터링을 위한 원격탐지의 역할과 미국 NASA의 기술 동향을 소개하고, 국내 연구동향으로 수자원연구원이 수문해석을 위한 습윤/건조 모니터링 기술 개발 방안을 현재 프론티어 연구사업의 일환으로 수행 중인 '유역 물 관리 운영 기술 개발'의 한 분야인 유역 유출관리 체계 구축의 세부 내용을 중심으로 제시코자 한다.

1. 서론

인간생활에서 강우량의 부족이나 과다는 피할 수 없는 자연현상이나 인간과 자연이 필요로 하는 각종 용수를 안정적으로 확보하여 공급하기 위한 실시간 유역 물 관리 기술은 수자원분야의 종합적인 과학기술이라 할 수 있다. 따라서 국민생활에 필요한 안정적인 용수공급을 위해서는 물 부족을 포함하는 제반 여건을 상시 모니터링하는 체계가 구축되어야 하며, 이는 사전에 문제점을 탐지하고 적절한 대응까지를 포함하는 유역 통합수자원관리 시스템의 기반이 되는 것이다.

적절한 유역의 특성을 파악하여 발생할 수 있는 수

2. 유역 감시를 위한 원격탐사의 역할

2.1 인공위성의 특징

현재 운용되고 있는 다양한 지구자원 탐사위성은 독자적인 시간(temporal), 분광(spectral) 및 공간(spatial) 해상도의 특징을 갖고 있다(김성준 등, 2006). 따라서 실제 관련분야에서 필요로 하는 자료들을 위성자료로부터 획득하려면 요구되는 시간, 공간해상도 및 활용하여야 할 분광대를 고려하여 결정하여야 한다. 유역의 정보를 연속적으로 획득하기 위

해서는 무엇보다도 해당 인공위성이 얼마나 자주 필요한 해상도로 동일지점에 대한 관련정보를 수집할 수 있는가에 달려 있다. 이와 같이 우수한 시간해상도를 갖는 인공위성으로 NOAA위성이 대표적이며, 2000년 이후부터는 MODIS 센서에 의한 자료들이 활용 가능하다.

2.1.1 NOAA위성과 AVHRR 센서

NOAA 위성의 이용목적은 정상적인 기상업무이며, 항상 2개의 위성이 운용되고 있다. 하나의 위성에 의해 지상의 동일지점을 하루에 적어도 2회 관측이 가능하므로 2개의 위성으로 총 4회 이상의 관측이 가능하다. NOAA 위성에 탑재되어 있는 주요 센서는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)과 TOVS(TIROS Operational Vertical Sounder)가 있다. AVHRR 센서는 구름의 분포, 지표면의 온도분포 등의 관측을 목적으로 하는 센서이다. TOVS는 대기중의 기온 및 습도의 연직분포를 구하기 위한 다밴드 분광방사계이다. AVHRR의 가시 및 근적외 channel 자료로부터 구해지는 NDVI는 여러분야에서 이용되고 있으며, 본 연구에서 이용하는 자료도 이 AVHRR 센서에 의한 것이다.

2.1.2 EOS MODIS 센서

한편 미 항공우주국(NASA)에서는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer)를 비롯한 5개의 관측위성장비를 이용하여 지구 전체의 환경을 감시하고 있다. MODIS는 지구 생물권 활동에 관한 자료를 제공하는 EOS의 주 센서로 해양과 육상, 대기 분야에 적용이 가능한 다목적 센서이다. MODIS 센서는 가시광선, 근적외선, 중적외선, 열적외선 영역의 36개 밴드를 활용하여 지구 환경관련 정보를 수집한다. 총 시야각은 $\pm 55^\circ$, 관측폭은 2,330km이고 공간해상도는 250m~1km로 Terra 위성의 센서들 중 1~2일 간격으로 전 지구 표면을 관측할 수 있는 유일한 센서이다. MODIS 센서는 육상과 해양의 표면온도, 기초생산력, 육상표

면, 구름, 에어로졸, 수증기량 등을 추정하는데 사용되며, NOAA AVHRR 위성영상에 비해 다양한 파장대에서 영상자료를 얻을 수 있다.

2.2 인공위성자료의 활용성

일반적으로 광학센서를 이용하는 인공위성으로부터 유역의 습윤상황을 직접 포착할 수 있는 정보는 제공받을 수 없으므로 간접적으로 이를 판단할 수 있는 정보를 추출하여야 하며, 현지점에서 인공위성 자료를 이용한 습윤정보 파악의 시점은 식생 관독으로부터 출발하는 것이 일반적이다. 어느 지역에 물 부족이 발생하면 어떠한 형태로든 그 지역의 식생 상태에 영향을 주게 된다. 가장 일반적인 현상은 식생이 물부족에 의한 스트레스를 받게 되면 식생의 활성도는 저하하게 되며, 그 지점의 지표면 온도는 상승하게 된다. 따라서 유역의 건습현상을 인공위성으로부터 규명하고자 하는 첫걸음은 그 지역의 식생의 상태를 판단하는 것이다. 특히 우리나라는 전 국토의 70%가 산지로 이루어져 있으며 식생의 양과 변화양상에 의하여 그 지역의 특성이 결정된다고 해도 과언은 아니다. 어떤 지역의 식생과 관련된 정보는 그 지역의 기후, 토양, 지질 및 지리적 특성을 밝히는 데 중요한 역할을 한다.

1960년대 이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생·물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이어졌다. 식생지수는 단위가 없는 복사값으로서 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수, 엽록소함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 지표로 사용된다. 현재 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있으나, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)라 알려진 정규화식생지수가 가장 널리 이용되고 있다. 정규화식생지수 NDVI는 인공위성 영상자료로부터 지표면의 식생피복과 관련된 정보를 얻기 위한 수단으로 사용되어 왔다. 계절별 NDVI 자료를 이용한 시계열분석을 통하

여 여러 형태들에 대한 순생산량 추정, 식생피복의 생육기간별 모니터링, 그리고 특정 식물의 생육기간 또는 건조기간을 추정할 수 있다.

일반적으로 인공위성 자료를 이용한 식생의 관측은 가시 및 근적외의 자료를 이용하여 파악되며 원격탐사 자료의 활용측면에서 무엇보다도 이용이 가장 활발한 대상이다. 녹색의 잎이 표시하는 분광반사특징에 착안하면, 잎의 성장기는 클로로필이 형성되는 단계이며, 잎의 성장단계에서는 적색 파장대의 흡수는 발생되지 않으나, 잎의 성장이 진행되면서 적색 파장대의 흡수가 발생한다. 성장한 잎에서는 약 0.68 μm 에서 최대 흡수가 발생하며, 약 0.55 μm 부근에서 가시광선의 최대반사율을 보이고 있다. 잎이 성장함에 따라 잎은 진한 녹색으로 변화하며, 녹색의 반사율이 낮아지고 근적외 파장대의 반사율이 증가한다.

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 식생에 직·간접적으로 연관되어 있는 식물

의 양을 추정하고 작물의 재배 면적 등을 분석하는 것 이외에도 식생의 상황으로부터 간접적으로 현상을 규명하고자하는 이용에도 활용되고 있다. 예를 들면, 식생활성의 변화를 지반상황과 연결하여 사면안정의 예측 가능성에 대한 연구 또는 증발산량의 추정 등 유출 해석에 필요한 입력변수의 추정에도 활용할 수 있다.

3. 유역의 습윤/건조 상황 모니터링 기법

미 항공우주국(NASA)에서 추진하고 있는 'NASA Applied Science Program' 중에서 JPL(Jet Propulsion Laboratory)이 주축이 되어 실행되고 있는 NASA 위성 자료를 이용한 가뭄감시(Drought Monitoring with NASA Satellite Data) 프로그램에 대하여 2006년 9월에 제시하고 있는 시스템 구성은 그림 1과 같다.

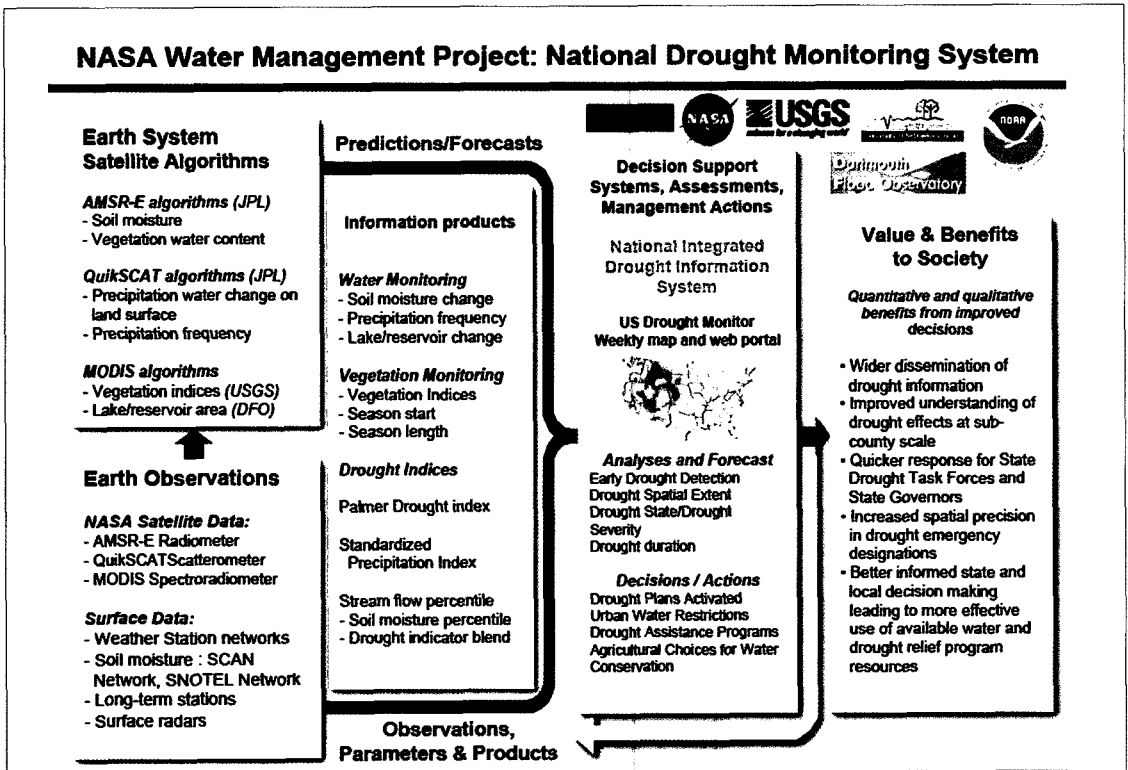


그림 1. NASA에 의한 국가 가뭄감시 시스템의 흐름도

유역 단위의 습윤 및 건조 상황을 모니터링하기 위하여 인공위성 자료를 활용하는 방안은 크게 인공위성 자료만을 이용하는 방법과 기후학적 물수지를 이용하는 방법이 있다. 인공위성 자료만을 이용하는 방법은 주로 물부족으로 인하여 식생의 활성도 저하와 지표면 온도의 상승으로 이어지는 현상을 인공위성으로부터 포착하여 유역의 건조상황을 파악하는 것이다. 이 경우 인공위성 자료만으로 분석이 가능하다는 장점은 있으나, 모든 것을 인공위성 자료에 의존하여야 하므로 보다 정확하고 주기적인 위성자료가 확보되어야 한다.

기후학적 물수지를 이용하는 방법은 위성자료와 기상 및 강우 자료를 조합하는 방법으로 지상의 관측자료가 필요하다는 부담을 갖지만, 인공위성 자료에서 파악할 수 없는 현상을 직접 기상 및 수문자료에 취득할 수 있으므로 정확성을 높일 수 있다는 장점이 있다.

3.1 식생상태지수에 의한 방법

어떠한 기상요소의 변화에 의해 식물의 생태학적 변화가 초래되었다고 할 때 이러한 생태학적 변화에 영향을 주는 기상 요소의 변화를 지상 관측 기상 자료로부터 검출한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 생태학적 변화로부터 이에 영향을 준 기상요소의 변화를 간접적으로 추정하는 방법을 생각할 수 있다. 생태학적 변화로부터 검출되는 NDVI의 변화로부터 추정된 기후의 변화는 다양한 기상 조건을 반영한다고 볼 수 있다.

NDVI의 변화는 인위적 혹은 자연적인 식생 조건의 변화에 따른 영향과 기상요소의 변화에 따른 영향으로 나누어 생각할 수 있다. 예를 들어 열대우림 지역에서의 높은 NDVI는 우거진 열대림에 의한 것이며 사막지역에서의 낮은 NDVI와는 기후영향이 아닌 지역적, 지형적 차이로부터 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 동일지역에서, 즉 지역 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생되

었다면 기상요소의 영향에 의한 것으로 생각할 수 있다. 따라서 이러한 식생에 영향을 주는 기상 요소의 변화를 검출하기 위하여 각 화소별로 몇 년에 걸쳐 NDVI의 최대값과 최소값을 계산하여 이용하는 방법을 생각할 수 있다.

식생의 양이 최대를 보인다는 것은 최상의 기상조건이 주어졌다는 것을 의미하며, 이러한 조건에서의 기후는 토양 속의 영양분 흡수를 촉진시켜 생태 자원의 활력도를 증진시킨다. 반면에 식생의 양이 최소일 때는 생태자원의 활력을 저하시키고 식생의 성장을 직접적으로 억제하는 가장 최악의 기상조건(예, 가뭄 시의 물부족)에서 나타날 것이다.

VCI(Vegetation Condition Index)는 NDVI에서 특히 기후변동과 관계하며, 0에서 100까지 변화한다. 즉, VCI가 0에 가까울수록 식생의 활력에 문제가 발생하고 있음을 나타낸다. VCI는 토지피복 및 식생의 시·공간적 변화뿐만 아니라 식생에 미치는 기상적 영향을 정량화하기 위하여 사용될 수 있다. 또한 더욱 중요한 것은 VCI를 통하여 서로 다른 생태학적 특징을 갖는 지역에서 기상의 영향을 비교할 수 있다는 점이다. 이러한 VCI를 통하여 기상조건에 따른 식생 활력의 증가 혹은 감소에 대한 정보를 정량적으로 파악할 수 있다.

그림 2는 신사철과 김철준(2003)에 의해 작성된 우리나라의 2000년의 VCI 분포를 나타낸 것으로 전반적으로 VCI는 50정도를 나타내고 있어 물이 풍부하지는 않으나 큰 물부족은 발생하지 않을 것으로 판단할 수 있다. 그러나 경상남북도과 전라남도 지방에서는 상대적으로 낮은 값을 보이고 있어 지역적인 물 부족현상이 있었음을 알 수 있다. 또한 6개년(1997~2002)에 걸쳐 VCI를 산정하고 가뭄지역으로 판별된 횡수를 조사하여 표시하면 횡수 3은 6개년 동안 3년 이상 가뭄위험 지역으로 분류된 지역으로 경상북도와 강원도 지역에서 비교적 많이 검출되고 있음을 알 수 있다.

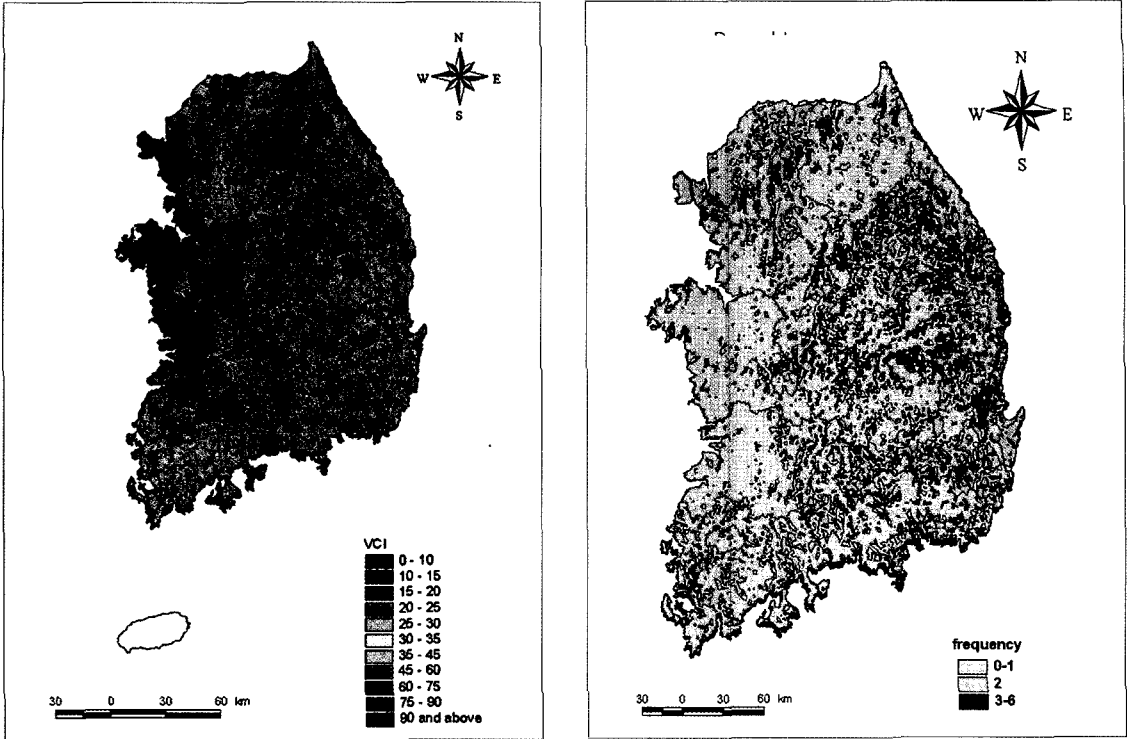


그림 2. 우리나라의 VCI와 가뭄빈도 분포

3.2 기후학적 물수지에 의한 방법

기후학적 물수지법은 기후 구분을 위하여 Thornthwaite에 의해 개발된 이래 다양한 수문학적 정보의 정량적인 정보를 얻는 방법의 하나로서 응용되어 왔다(Legates와 Mather, 1992). 물의 공급(강수)과 기후학적 물수요(증발산량)와의 비교에 의해 복잡한 조건하에서의 지표면 건조 등의 정보가 파악 가능하다. 여기서 부족수분량은 기후학적 물수요와 실제의 공급량과의 차이로 정의되며, 과잉수분량은 식물에 의한 수요량 이상의 수분량으로 정의된다. 부족수분량은 식물의 성장을 유지하기 위하여 관개 등에 의하여 공급되어야 할 양이며, 과잉수분량은 지하에 침투하는 양과 하천수에 의해 손실되는 수분으로 지표면 흐름과 지표하 흐름에 의한 유출량을 포함하고 있다. 이와같은 기후학적 물수지로부터 과잉수분량과 부족수분량을 구하여 이들을 이용한 지표를 이용함으로

서 가뭄지역 판별 및 필요수량 등의 정보를 얻을 수 있다.

그림 3은 NOAA 위성자료를 이용하여 기후학적 물수지를 통하여 우리나라 금강권역에 대한 습윤지표(Moisture Index)를 산정한 것이다. 이 습윤지표는 유역의 습윤 및 건조상황을 표현하며 지표가 낮을수록 물부족이 발생하고 있음을 나타내고 지표가 높을수록 수분이 풍부하다는 것을 표시한다. 2001년도의 습윤지표 분포에서는 부족수분량이 큰 값을 나타내는 전라남도 지역에 물부족 현상이 발생되고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 미 항공우주국(NASA)에서 MODIS 자료를 이용하여 분석한 가뭄분포도를 제시한 것이다. 또한 그림 5는 2001년을 대상으로 낙동강유역에 대한 부족수분량을 구한 결과를 나타낸 것이다(신사철 등, 2006). 2001년 3월부터 경상북도 지역을 중심으로 부족수분량이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 4월에

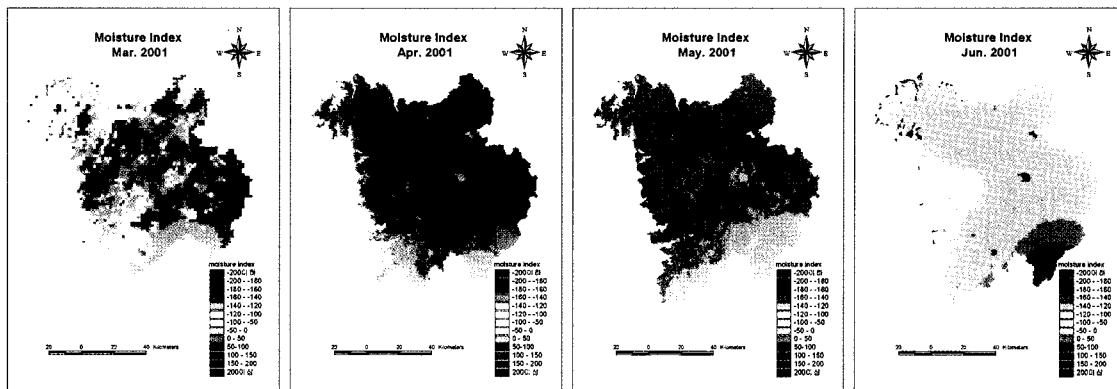


그림 3. NOAA위성 자료를 이용한 습윤지표 분포

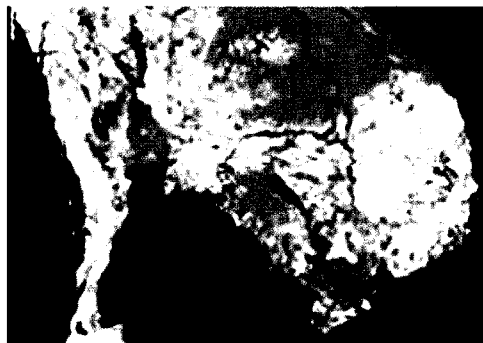


그림 4. NASA에서 제공하는 MODIS영상에 의한 Southeast Asia의 가뭄분포도

도 부족수분량은 꾸준히 증가하다가 5월에는 그 증가 폭이 현저히 커지고 있다. 그러나 6월의 경우 비교적 많은 강우가 발생하여 부족수분량은 발생하지 않으며 이번 가뭄은 해소된 것으로 나타나고 있다. 이로부터 부족수분량이 2001년의 극심한 가뭄상황을 잘 묘사해 주고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

통합수자원관리를 구현하기 위한 수문기상 및 유역유출해석 기반을 마련하려면 유역토양습윤의 상황

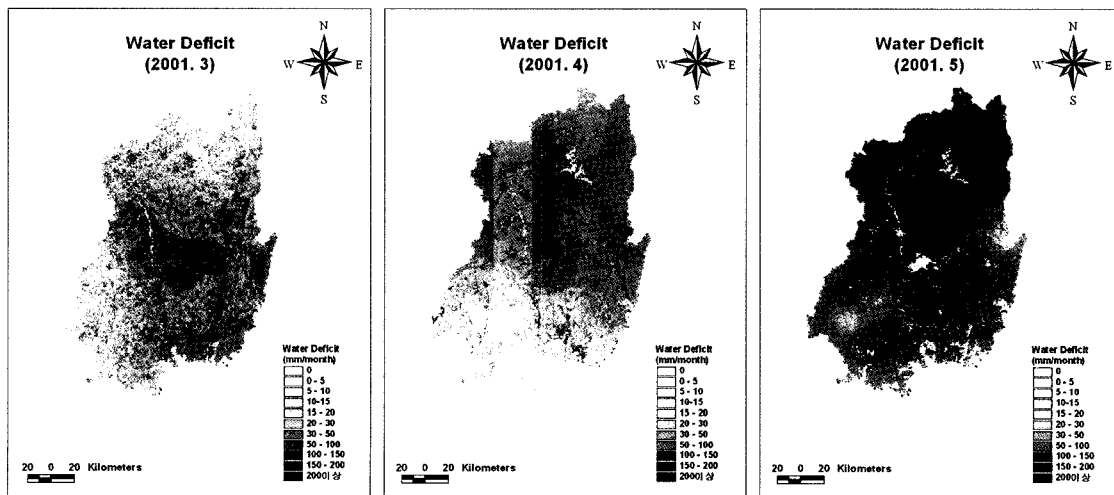


그림 5. MODIS 자료를 이용한 부족수분량 분포도 (2001년)

을 주기적으로 모니터링하는 체계의 구축과 이를 고려한 유출특성분석기법개발이 필요하다. 원격탐사로 생성된 자료를 활용하면 유역 안의 토양습윤상황을 유출현상보다 시간적으로 더 빨리 파악할 수 있으므로 이러한 유역반응을 모니터링을 통해 유출예측의 정확도를 높여 나감으로서 유역 물 관리의 효율성과 지속 가능성 제고가 가능하다.

본고에서는 미국의 NASA의 위성자료를 이용한 국가 가뭄 모니터링 시스템을 벤치마킹해서 현재 국내에서 시도되고 있는 유역수문해석을 위한 습윤/건조 모니터링 기술 개발 방법을 소개하였다. 인공위성 자료를 활용한 기후학적 물 수지 기법을 적용, 물 순환 기구를 규명하고 지표면 건습에 대한 정보를 추출하기 위하여 NOAA/AVHRR과 MODIS 지상관측 및 예보시스템을 구축하게 된다.

수자원의 지속적 확보 기술을 개발하는 프론티어 연구사업 2, 3단계에서 한국수자원공사 수자원연구원이 주관하는 산학연 공동연구과제(유역 물 관리 운영기술개발)를 통하여 이 시스템이 완성되면 유역 내 토양의 건습상황을 모니터링하여 유역 수분상황을 규명하므로써 향후 유출변동을 예측하는 과정을 통하여 유역 수문반응을 파악할 수 있게 된다. 궁극적으로는 이러한 기술기반을 토대로 유역의 반응시기부터 수문량의 이동을 파악할 필요가 있으며, 이러한 예측/예보를 바탕으로 실질적인 운영·관리 시스템이 현장에서 동시에 운영되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업단의 과제인 “유역 물 관리 운영 기술 개발(과제번호:1-6-2)” 연구에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 신사철, 김철준 (2003). 우리나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 제36권, 제5호, pp. 839-849.
- 신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술 (2006). NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정, 한국지리정보학회지, 제9권, 제2호, pp. 102-114.
- 신사철, 황만하, 고익환, 이상진 (2006). 식생 및 기온정보를 조합한 증발산량 산정을 위한 간편법 제안, 한국수자원학회논문집, 제39권, 제4호, pp. 363-372.
- Legates, D.R., and Mather, J.R. (1992). An evaluating of the average annual global water balance. *Geographical Review*, Vol. 82, pp. 253-267.