

NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정*

신사철¹ · 정수¹ · 김경탁² · 김주훈^{2*} · 박정술²

Drought Detection and Estimation of Water Deficit using NDVI*

Sha-Chul SHIN¹ · Soo JEONG¹ · Kyung-Tak KIM²
Joo-Hun KIM^{2*} · Jung-Sool PARK²

요 약

본 연구의 목적은 낙동강 권역을 대상으로 가뭄지역을 검출하고 부족수분량을 산정하는 방법을 개발하는 것이다. 위성자료는 임의 지점에 대하여 지속적이고 반복적인 관측 자료를 제공하므로 가뭄 감시를 위해 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 증발산량과 식생지수(NDVI)가 밀접한 상관성이 있는 점에 착안하여 MODIS 영상으로부터 얻어진 NDVI와 기상자료 중 기온자료를 이용하여 증발산량을 산정하는 간편법을 제안하였다. 가뭄 분석을 위해 위성자료로부터 얻어진 증발산량 자료를 이용하여 기후학적 물수지 모형에 의해 부족수분량을 산정하여 물부족의 심도를 파악하였다. 본 연구의 결과로서 가뭄 분석에 있어서 위성영상의 활용이 대단히 유용하다는 것을 보여주고 있다.

주요어 : 가뭄, MODIS, 부족수분량, 낙동강

Abstract

This study aims to develop a method to analyze droughts in Nakdong river area. Satellite imagery can be applied to droughts monitoring because it can afford periodic data for large area for long time. In this study, supposing that evapotranspiration and NDVI are closely related to each other, we presented a method to estimate evapotranspiration in large area with NDVI from MODIS data and temperature. For the final analysis of droughts, water deficit is calculated by climatological water balance using the distribution of evapotranspiration and precipitation. As the results of this study, we improved the usability of satellite imagery, especially in drought analysis.

KEYWORDS: Drought, MODIS, Water Deficit, Nakdong River

2006년 3월 21일 접수 Received on March 21, 2006 / 2006년 6월 20일 심사완료 Accepted on June 20, 2006

* 이 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구-위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

1 안동대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Andong National University

2 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research. Division, Korea Institute of Construction Technology

※ 연락처자 E-mail: jh-kim@kict.re.kr

서 론

가뭄을 단순히 한 두 마디의 단어로 정의하기는 매우 어려우며, 일반적으로 비가 오랫동안 오지 않거나, 적게 오는 기간이 지속되는 현상으로 인식되고 있다. 가뭄은 인간으로서 불가항력적인 자연현상이며, 인류의 역사는 이러한 가뭄을 극복해오면서 발전해 왔다. 우리는 가뭄발생을 방지할 수는 없으나 가뭄을 견딜 수 있는 대비책을 확보함으로써 그 피해를 어느 정도 줄일 수는 있을 것이다. 따라서 본 연구는 가뭄에 대비하여 가뭄에 따른 경제적 손실 및 환경요인 등의 변화를 최소화하기 위하여 가뭄현상을 인공위성 자료로부터 파악하고자 하는 의도에서 연구를 진행하였다.

현재 선진국에서는 가뭄현상을 사전에 탐지하는 것을 시작으로 가뭄 발생시 취하여야 할 적절한 대응까지를 포함하는 종합적인 가뭄관리 체계를 구축하고 있다. 이를 위해서는 위기관리(crisis management)와 위험관리(risk management)를 포함하는 포괄적인 관리시스템이 요구된다. 지금까지 우리나라의 경우 가뭄에 대한 대응은 위기관리측면에 비중을 둔 것으로서 가뭄이 발생되면 이에 대한 대응수준에 불과하였다고 말할 수 있다. 그러나 최근 우리나라에서도 가뭄관리시스템을 개발하는 연구가 관련 기관 사이에서 이루어지고 있으며, 이는 가뭄관련 정부기관들이 가뭄에 대비하고자 하는 필요성을 인식하고 있다는 것을 의미한다.

궁극적으로 가뭄에 대한 대비책은 아직 발생하지 않은 미래의 가뭄을 예상하여 수립하는 것이기 때문에 실수나 오류가 있을 수 있으며, 이러한 실수나 오류를 최소화하기 위해서는 정기적으로 시간적·공간적으로 자료의 특성이 동일한 자료를 이용하여 객관적인 판단에 의한 것이어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 인공위성 자료라는 객관적인 자료를 이용하여 분석을 실시하고 있다. 인공위성을 이용

한 가뭄현상의 파악은 시·공간적으로 변화가 많은 지역에 대하여 동일한 정확도로 지상 자료의 획득이 가능하다는 측면에서 객관적 판단을 가능하게 하고 있다.

또한 가뭄에 대한 적절한 완화 및 대응조치를 채택하여 가뭄을 대비하고, 가뭄에 대응할 수 있는 위험관리 측면의 근간이 되는 연구가 필요하다. 이러한 의미에서 본 연구는 위험관리의 근간을 이루는 가뭄지역의 실시간 모니터링을 가능하게 하고 그 심도를 파악할 수 있도록 인공위성 자료를 활용하는 연구를 수행하고자 한다. 이에 본 연구에서는 기후학적 가뭄감시를 위하여 비교적 해상도가 우수한 MODIS 영상자료를 이용하여 빈번하게 발생되고 있는 가뭄현상을 조기에 탐지하고 이에 대한 적절한 대응 체계를 구축할 수 있는 하나의 방법론을 제시하는데 목적이 있다.

연구동향

인공위성 자료는 만능이 아니며 일반적으로 인공위성으로부터 가뭄현상을 직접 포착할 수 있는 정보는 제공받을 수 없다. 따라서 간접적으로 가뭄을 판단할 수 있는 정보를 추출하여야 하며, 현지점에서 인공위성 자료를 이용한 가뭄파악의 시점은 식생 관측으로부터 출발하는 것이 일반적이다. 어느 지역에 가뭄이 발생하면 어떠한 형태로든 그 지역의 식생 상태에 영향을 주게 된다. 가장 일반적인 현상은 가뭄이 발생하여 식생이 물부족에 의한 스트레스를 받게 되면 식생의 활성도는 저하하게 되며, 그 지점의 지표면 온도는 상승하게 된다. 따라서 가뭄현상을 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 지

리적 특성을 밝히는 데 중요한 역할을 한다.

1960년대이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생·물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이어졌다. 식생지수는 단위가 없는 복사량으로서 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수, 엽록소 함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 지표로 사용된다. 현재까지 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있으나, NDVI (normalized difference vegetation index)라 알려진 정규화 식생지수가 가장 널리 이용되고 있다. 이러한 정규화 식생지수 NDVI는 인공위성 영상자료로부터 지표면의 식생피복과 관련된 정보를 얻기 위한 수단으로 사용되어 왔다.

원격탐사에서 식생을 이용한 연구는 1970년대 중반부터 Landsat MSS (multi-spectral scanner) 센서를 이용하여 시작되었다. 인공위성을 이용한 원격탐사 자료를 활용한 작물 및 가뭄현상에서의 적용은 1980년대 중·후반부터 매우 폭넓게 이용되고 있으며, 특히 식생 분야에서 원격탐사 자료의 응용은 폭넓게 이용되고 있다. 북미 및 유럽에서는 작물의 성장에 필요한 물로 인한 스트레스 지역 즉, 가뭄에 의해 작물성장에 저해를 줄 수 있는 지역을 탐지하는 등 여러 분야에서 매우 높은 정확도로 산출되고 있다. 반면에 가뭄감시에 대한 응용은 Kogan(1997)에 의해 이루어지고 있다. 이러한 원격탐사 자료 이용의 증가는 환경변화를 감시하고 매핑하기 위한 수단으로 가장 저렴하고 효과적이라는 사실을 증명하고 있다.

현재 우리나라에서도 GIS 및 원격탐사기법은 수문 및 수자원 분야를 비롯해 많은 분야에서 응용되고 있으며, 특히 증발산량 분포 분석에 관한 연구에서 신사철 등(2004)은 NDVI와 기온자료를 이용하여 광역증발산량을 산정한 바 있으며, 김주훈 등(2005)은 Landsat 영상자료로부터 NDVI와 LAI 등을 추출하고 이

자료들로부터 잠재증발산량을 산정하는 연구를 수행한 바 있다. 또한 증발산량 분포와 더불어 지표면 열수지 인자 및 수문인자 추출 분석에서도 인공위성 원격탐사 기법을 이용한다(채효석, 1998; 채효석 등, 1999a, 채효석 등 1999b).

광역적 가뭄 파악을 위하여 인공위성 자료를 활용하는 방안은 크게 인공위성 자료만을 이용하는 방법과 기후학적 물수지를 이용하는 방법을 생각할 수 있다. 이중 전자는 인공위성 자료만을 이용하는 분야이다. 인공위성 자료만을 이용하는 방법은 주로 가뭄으로 인하여 식생의 활성도 저하와 지표면 온도의 상승으로 이어지는 현상을 인공위성으로부터 포착하여 가뭄현상을 파악하는 것이다. 그러나 이 경우 인공위성 자료만으로 분석이 가능하다는 장점은 있으나, 모든 것을 인공위성 자료에 의존하여야 하므로 보다 정확하고 주기적인 위성자료가 확보되어야 한다.

반면에 본 연구에서 실시하고자 하는 기후학적 물수지를 이용하는 방법은 위성자료와 기상 및 강우 자료를 조합하여 가뭄분석을 실시하며, 지상의 관측자료가 필요하다는 단점을 갖지만, 인공위성 자료에서 파악할 수 없는 현상을 직접 기상 및 수문자료를 통해 취득할 수 있으므로 정확성을 기할 수 있다는 장점이 있다.

Kogan(1995)은 가뭄의 평가를 위하여 식생상태지수(vegetation condition index, VCI)를 제안하였으며, 이는 인공위성으로부터 측정된 근적외 영역과 가시 영역의 반사도로부터 산출되는 NDVI를 이용하여 얻을 수 있다. 많은 이론적 혹은 경험적 연구로부터 NDVI가 식생의 순일차생산량(net primary production: NPP) 및 작물의 수확량 추정뿐만 아니라 토지피복, 강우감시, 가뭄 감시 및 매핑에 효과적으로 이용될 수 있다는 것을 보고하고 있다(Tucker and Choudhury, 1987).

또한, Bayarjargal 등(2000)은 식생 피복과

가뭄확산 정도를 모니터링하기 위하여 NOAA/AVHRR(national oceanic and atmospheric administration/advanced very high resolution Radiometer) 자료로부터 가뭄에 영향을 받을 수 있는 지역을 탐지하였다. 특히 가뭄지수를 기초로 한 NDVI와 LST(land surface temperature)와의 상관관계에 관한 연구는 가뭄의 광역적인 분포뿐만 아니라 탐지를 가능하게 하고 있다. 극동아시아 내륙의 몽골지역을 대상으로 건조년과 습윤년을 포함한 1992~1995년까지 4년간의 NDVI와 LST의 두 지표와 총강수량, 지역의 세분(건조, 반건조, 반습윤, 습윤지역)을 통해 연구지역의 가뭄 정도와 이에 영향을 주는 여러 요인들과의 관계를 밝혔다.

연구방법 및 대상지역

1. 기후학적 물수지

본 연구에서는 기후학적 물수지를 계산하고 그로부터 생산되는 부족수분량을 이용하여 어느 임의 지점에서의 부족수분상황을 파악하였다. 물수지는 수자원개발 뿐만 아니라 환경보전 등을 생각할 때 기본이 되는 중요한 개념이다. 그 이유는 재생 가능한 자원으로서 수자원을 이용하기 위해서는 물수지의 실태파악이 불가결하며, 생태계가 물의 흐름에 강하게 규제되어 성립하며 인간활동이 전개되기 때문이다.

기후학적 물수지는 기후 구분을 위하여 Thornthwaite(1948)에 의해 개발된 이후 여러 가지 다양한 수문기상학적 문제의 정량적 정보를 획득하기 위한 하나의 방법으로 응용되어 왔다(Legates and Mather, 1992; Tateishi and Ahn, 1996). 물의 공급(강수)과 기후학적 물수요(증발산량)와의 비교에 의해 복잡한 지형 조건하에서의 물 보유량 등의 정보가 파악된다. 여기서 부족수분량(water deficit)은 기후학적 수요량과 실제 공급량과의 차로 정의

되며, 식생의 성장을 유지하기 위하여 관개 등에 의해 공급되어야 할 양이다.

부족수분량(D)은 임의 월의 증발산량이 강우량을 초과할 경우 발생한다. 또한 임의 월의 토양수분이 토양수분 보유능보다 작을 경우 과잉수분은 존재하지 않으며, 수요량과의 차이만큼 부족수분량이 발생한다. 반면에 강우량이 증발산량을 초과할 경우 증발산량과 강우량의 차에 상당하는 과잉수분량이 존재하게 되며, 기후학적인 물부족은 발생되지 않는다.

월단위의 기후학적 물수지를 산정하기 위해서는 각 월의 토양수분을 추정하여야 한다. Donker(1987)는 월 잠재증발산량, 강우량 및 토양수분보유능(soil water holding capacity ; WC)을 이용하여 토양수분을 산정하는 방법을 개발하였다. 임의의 월에서 토양수분은 누가 잠재수분 손실(accumulated potential water loss : AWL)과 토양수분 보유능(WC)으로부터 계산된다.

임의 월의 강우량이 증발산량보다 작을 경우 토양수분의 손실이 발생되며 그 월까지의 누적된 손실량은 누가잠재 수분손실로서 나타난다. 반면에 강우량이 증발산량을 초과하는 경우 토양수분의 손실은 발생하지 않으며, 그 차이만큼의 수분이 더해지게 된다.

이 방법을 적용하기 위한 시작 월은 토양의 수분 조건이 충분히 포화된 것으로 판단할 수 있는 월을 선정하게 된다. 본 연구에서는 우리나라의 가뭄이 심각한 현상이 봄철에 나타나는 것을 감하여 3월부터 계산하고 있다. 이러한 기후학적 물수지를 위한 개략적인 흐름도를 그림 1에 나타내었다. 기후학적 물수지를 산정하기 위한 입력 자료로는 강우분포, 실제증발산량 분포가 필요하며, 임의 지점에서의 강우량과 증발산량의 대소관계에 의해 토양수분 및 부족수분량을 결정하게 된다.

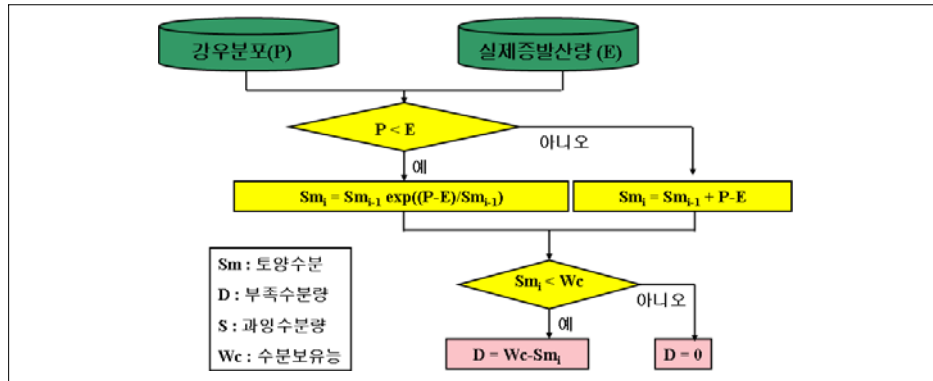
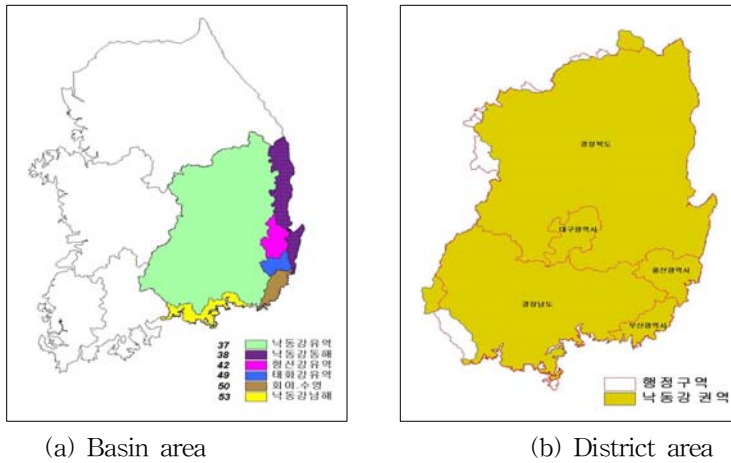


FIGURE 1. Process of climatological water balance



(a) Basin area

(b) District area

FIGURE 2. Study area

2. 대상유역

본 연구를 위한 대상유역은 낙동강권역이다. 수자원단위지도 상의 낙동강 권역은 6개의 대권역(낙동강유역, 낙동강동해, 형산강유역, 태화강유역, 회야·수영, 낙동강남해)으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 그림 2와 같이 낙동강 유역에 국한하지 않고 6개의 대권역 전체를 대상으로 하였다. 6개의 대권역을 포함하는 낙동강권역의 유역면적은 31,785.04km²이며, 그중 가장 큰 유역면적을 차지하고 있는 것은 낙동강유역으로 유역면적 23,702.02km²에 달한

다. 각 대권역의 유역면적을 보면 형산강 유역이 1,139.99km², 태화강 유역이 660.86km², 회야·수영이 865.44km², 낙동강동해 2,968.09km² 및 낙동강 남해 2,448.64km²이다. 그림 2(a)와 같은 수자원단위지도상의 대권역은 각각의 고유번호로 표시된다.

또한 권역 내 경상북도, 경상남도, 부산광역시, 대구광역시 및 울산광역시와 같은 2개도와 3개 광역시가 포함되어 있다. 각 광역시/도의 경계와 권역의 경계가 정확히 일치하는 것은 아니지만 5개 광역시/도의 거의 대부분이 권역에 포함되고 있음을 알 수 있다(그림 2(b)).

사 용 자 료

본 연구에서 사용하고 있는 MODIS(MODerate resolution imaging spectroradiometer)는 미국 NASA의 지구감시계획(EOS: earth obserbing system)에 의해 1999년 12월에 발사된 지구관측위성 Terra 위성에 탑재된 센서이다. Terra 위성은 약 705km 상공에서 남북방향으로 지구를 관측하는 극궤도위성으로, 관측범위는 남북방향으로 5000 km, 동서방향으로 2300 km이다. Terra 위성이 한반도 주변을 관측하는 시간은 낮 12시경과 밤 12시경으로 하루에 2-4회 한반도를 통과한다.

Terra 위성에 장착된 MODIS 센서는 36개의 채널로 구성되며 해상도는 250m, 500m 와 1km를 가진다. MODIS 자료는 기존의 NOAA 나 GMS에 비해 매우 고해상도 정보를 제공하므로 대기, 해양, 육지에 대한 구름, 에어러졸, 수증기 등의 특성 분석, 대기권의 태양/지구 복사에너지 관측을 통한 지구온난화 및 기후변화 감시, 해상과 육상의 생물간의 상호관계 관측 등 다양한 분야에 유용하게 활용되고 있다.

NASA에서는 위성영상 product로서 대기, 빙하, 육지, 태양, 자료보정 분야별로 제공되며 본 연구에서는 식생지수 활용을 위해 MODIS product 중 육지분야의 "vegetation index 16day composit global 250m"자료를 수집하였다. 분석기간은 전국적으로 가뭄이 심각했던 2001년을 대상으로 하였다.

MODIS에서는 총 40개의 영상 product 들을 hdf 파일포맷으로 무료로 제공하며, 처리수준에 따라 Level 0~4로 구분한다. MODIS vegetation index는 13번째 prodcut로 대기보정된 Level 3자료이다. 그림 3은 MODIS 식생지수 제작을 위한 Level 처리과정을 나타낸 것이다. 이상과 같은 절차에 의해 NASA에서 제공하고 있는 16일 간격의 NDVI를 수집하여 월별 분석을 위하여 월단위의 NDVI로 변환하였다.

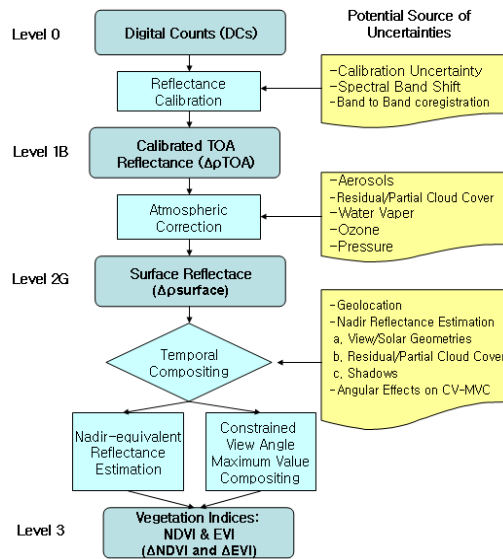


FIGURE 3. Process of MODIS VI's Level

결과 및 고찰

전술한 바와 같이 광역적 가뭄 파악을 위하여 인공위성 자료를 활용하는 방안은 크게 인공위성 자료만을 이용하는 방법과 기후학적 물수지를 이용하는 방법으로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 인공위성 자료와 기상 자료를 조합한 기후학적 물수지를 이용하여 가뭄현상을 파악하였으며, 각 인자별 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 강우량의 공간분포

2001년 3월부터 6월 중순까지 전국적으로 기상 관측이래 최악의 봄가뭄이 계속되면서 기상 재앙이라는 말까지 나올 정도의 극심한 가뭄으로 커다란 사회경제적 파장을 일으켰다. 2001년 3월부터 5월까지의 봄철 강수량을 정리하면 표 1과 같으며, 전반적으로 예년 강수량의 20~30% 정도로 매우 건조한 상태를 보였으며, 비교적 강우가 적었던 2000년에 비해서도 대단히 적은 강우량을 보이고 있다.

TABLE 1. Comparison of precipitation each station(2001/03~05)

(Unit:mm)

지명	평년 (30년평균)	2001년	2000년	평년대비		2000년대비	
				차	비율(%)	차	비율(%)
울진	209.8	41.1	117.1	-168.7	20	-76.0	35
안동	203.5	36.1	117.6	-167.4	18	-81.5	31
포항	221.1	112.1	131.8	-109.0	51	-19.7	85
대구	202.1	86.2	107.8	-115.9	43	-21.6	80
울산	280.4	93.3	170.2	-187.1	33	-76.9	55
마산	328.7	92.3	179.2	-236.4	28	-86.9	52
부산	376.1	106.3	185.5	-269.8	28	-79.2	57
통영	373.6	106.0	196.2	-267.6	28	-90.2	54
진주	341.8	105.8	141.7	-236.0	31	-35.9	75

TABLE 2. Meteorological stations

번호	관측소명	북위	동경	고도(m)	번호	관측소명	북위	동경	고도(m)
1	울진	36°59′	129°25′	49.4	12	영주	36°52′	128°31′	210.2
2	안동	36°34′	128°43′	139.4	13	문경	36°37′	128°09′	170.4
3	포항	36°02′	129°23′	1.9	14	영덕	36°32′	129°25′	41.2
4	대구	35°53′	128°37′	57.6	15	의성	36°21′	128°41′	81.1
5	울산	35°33′	129°19′	34.7	16	구미	36°08′	128°19′	47.9
6	마산	32°11′	128°34′	11.3	17	영천	35°58′	128°57′	94.1
7	부산	35°06′	129°02′	69.2	18	거창	35°40′	127°55′	220.9
8	통영	34°51′	128°26′	31.7	19	합천	35°34′	128°10′	32.7
9	진주	35°12′	128°07′	21.3	20	밀양	35°29′	128°45′	12.6
10	태백	37°10′	128°59′	713.4	21	산청	35°25′	127°53′	138.6
11	춘양	36°56′	128°55′	321.5	22	거제	34°53′	128°36′	45.3

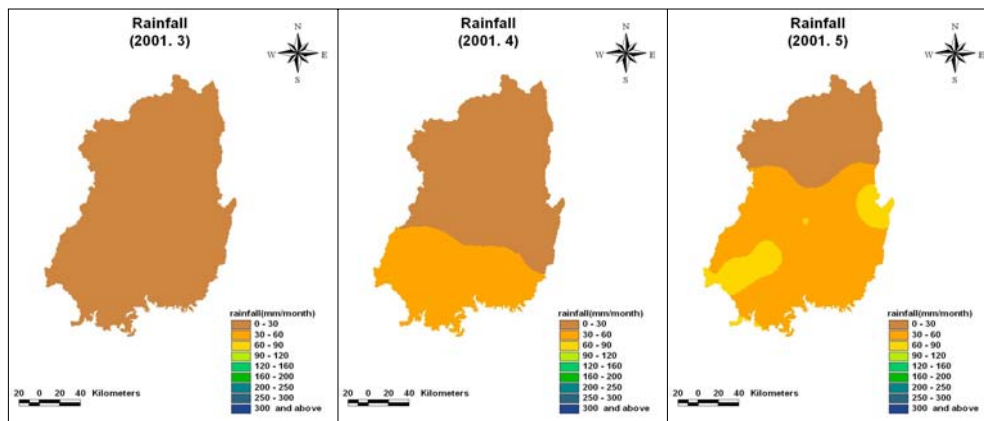


FIGURE 4. Precipitation distribution map(for 2001)

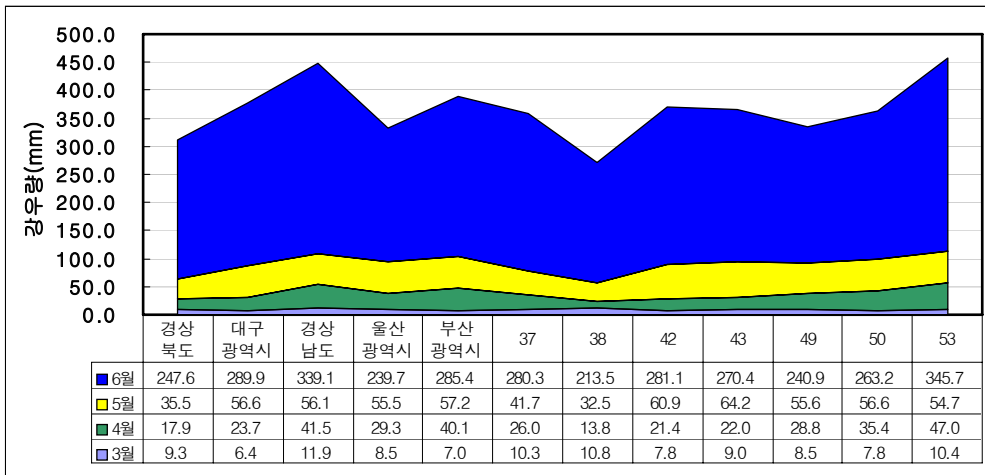


FIGURE 5. Accumulation precipitation of 3 month(for 2001)

본 연구에서는 자료의 획득이 가능한 전국의 기상관측소 중 낙동강 권역에 위치한 22개 기상관측소(표 2)에서 획득된 지점별 강우량을 IDW(inverse distance weighted)법에 의해 강우량의 공간분포를 실시하였다. 기상관측소에서 관측된 2001년의 지점별 월강우량에 대하여 IDW 방법에 의해 공간 분포된 결과를 나타낸 것이 그림 4이다. 2001년 3월부터 10월까지 분석하였으나 가뭄이 심각하게 발생한 3월부터 5월까지의 결과만을 나타내었다. 이와같이 공간 분포화된 강우량 자료를 이용하여 가뭄현상이 주로 발생하는 봄철(3월~6월)까지의 강우량 통계를 수자원단위지도상의 대권역과 광역시/도를 대상으로 누적하여 표시하면 그림 5와 같다. 그림 5에서 행정구역명 다음의 숫자 37, 38, ..., 53은 낙동강권역에 대한 수자원단위지도의 대구역코드번호이며(그림 2), 행정구역별 및 낙동강권역의 대구역별로 분석을 실시하였으며, 2001년의 경우 3월부터 6월 중순까지 강우량이 상당히 적어 극심한 가뭄을 겪은 해로 기록되었다.

2. 증발산량의 공간분포

NDVI로부터 실제증발산량을 산정하는 방법

을 개발하기 위해서는 우선 분석에 사용할 실제증발산량이 필요하다. 이와같은 기준으로 사용되어질 실제증발산량은 관측에 의한 정확한 값이어야 하나 넓은 지역을 대상으로 실제증발산량을 직접 구한다는 것은 불가능한 일이므로 본 연구에서는 보완관계식을 이용하여 실제증발산량을 산정하였다.

증발산량 산정 및 기후학적 물수지를 넓은 지역에 적용하기 위하여 지표면의 특성이 유사한 몇 개의 항목으로 분류하는 것이 필요하며, 이를 위하여 본 연구에서는 식생의 특성이 유사한 지역으로 그룹화하여 5개등급으로 분류하였다. 월 NDVI를 이용할 경우 월별 식생상태는 파악할 수 있으나 장기간에 걸친 평균적인 식생의 상태는 파악할 수 없게 된다. 따라서, 유역내 식생 등급 분류는 2001년 3월~11월, 2002년 3월~11월의 총 18개의 월별 NDVI 평균값을 이용하여 분류하였다. 식생등급을 구분하는 방법은 일반적인 피복분류 방법 중 감독분류를 이용하였다. 각 등급별 피복상황은 피복의 특성이 유사한 범위를 지정하는 것이 목적이므로 가급적 class 1은 수역에 상당하고, class 2는 도시, class 3는 농경지, class 4는 산림지역에 상당하도록 구분하였다.

이후 class 4(산림)를 다시 class 4(낙엽수)와 class 5(상록수)로 세분하기 위하여 2001년 1월, 2월 및 12월, 2002년 1월, 2월 및 12월의 총 6개의 NDVI 자료를 이용하여 평균NDVI 자료를 생성하였다. 이러한 통계 평균 NDVI 자료에서 NDVI 값이 화면상에서 가장 높게 분포된 지역(white area)을 육안으로 판독하여 6개의 AOI를 추출한 후 추출된 6개의 AOI를 입력값으로 하여 2개의 클래스(식생지역과 비식생 지역)로 감독분류함으로써, 상록수 지역을 추출하였다. 결과적으로 이를 원래의 class 4와 중첩하여 산림지역을 class 4(낙엽수)와 class 5(상록수) 지역으로 구분하였다. 본 연구에서는 식생조건이 유사한 항목으로 그룹화하는 것에 불과하며, 이 결과는 본 연구에서의 분석과정에서 적용하여야 할 조건(증발산량 등)을 달리하고자 이용되는 것으로 통상적인 토지피복 결과와는 반드시 일치하지는 않는다.



FIGURE 6. iNDVI

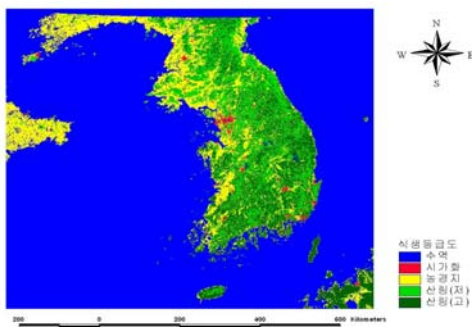


FIGURE 7. Classification of vegetation grade

어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 것은 일반적으로 입증된 사실이다. 또한 증발산량은 식생상태의 영향을 받으므로 증발산량과 NDVI의 상관관계를 생각할 수 있으며 증발산량과 NDVI는 기상조건에 밀접한 관계를 가지므로 증발산량, NDVI, 기상조건의 상관관계를 생각할 수 있다. 여러 기상자료 중에서 기온은 자료의 획득이 용이하며 무엇보다도 증발산량과 대단히 높은 상관성을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 지역적 피복특성이 고려된 공간자료의 형태로 주어지는 NDVI와 기상관측 지점별로 얻어지는 기온을 통계적 방법에 의해 공간분포화한 자료를 변수로 하여 실제증발산량을 산정하는 관계식을 개발하였다. 증발산량을 산정하기 위한 다중회귀분석은 보완관계식에 의한 기준증발산량을 종속변수로 하고 독립변수로서 NDVI(변수명: ndvi)와 기온(변수명: temp)을 사용하여 결과적으로 어느 임의의 지점에서 실제증발산량을 산정할 수 있는 추정식을 구하였다.

월증발산량을 산정하기 위해 해당월의 NDVI와 기온자료를 이용하면 되나, 증발산량과 식생의 변화 양상에는 약간의 시간적 차이가 발생한다. 즉, 식물이 성장하는 시기(성수기)에는 기온의 급격한 상승으로 증발산량 또한 급격히 상승하나 식생의 성장은 그에 미치지 못한다. 또한 낙엽이 지는 시기(비성수기)에는 기온의 급격한 하강으로 증발산량은 급격히 저하하나 식생의 변화는 그만큼 빠르게 변화하지 못하는 성수기의 반대 현상이 나타난다.

결과적으로 월증발산량의 정확도를 높이기 위해서는 이와 같은 시간적 차이를 보정해주는 것이 필요하다. 가장 전형적인 방법은 시간적 차이를 고려하여 자료를 입력하는 것이나, 이 경우 과거의 분석에서는 문제가 되지 않으나 현재 월의 증발산량을 얻기 위해서는 아직 오지 않은 다음 월의 NDVI가 필요하게 되는

적용상의 문제가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 전체기간을 대상으로 회귀분석을 실시하는 것보다 이와같은 식생의 활성화 변화에 따른 기간으로 구분하여 회귀 분석을 실시하는 것으로 하였다. 이를 위하여 성수기와 비성수기를 구분하여야 하며, 본 연구에서는 기간을 변화시키면서 상관성을 분석한 결과 성수기를 3~8월로 하고 비성수기를 9~11월로 나누어 분석하는 경우에 정확성이 가장 높게 나타났다. 다중회귀분석을 통해 얻어진 회귀방정식을 결정계수(R^2)로 적합도 검증을 하고 얻어진 식을 표 3에 표시하였으며, 본 연구에서 개발한 회귀방정식을 이용하여 산정한 실제 증발산량 분포도는 그림 8과 같다.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 회귀방정식의 결정계수는 0.8~0.9 정도의 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. class 2의 경우 대부분 도시 지역에 상당하는 지역으로 식생보다는 기상요소에 강하게 영향을 받게 되므로 정확도는 가장 낮게 나타나고 있으나, 대체로 적용 가능한 수치를 보여주고 있다.

3. 부족수분량의 분포

본 연구에서는 이상에서 기술한 기후학적 방법에 의해 낙동강 유역에 대하여 부족수분량의 분포를 통하여 가뭄지역을 검출하고 그 심도를 파악하였다. 강우량이 증발산량보다 적은 경우 토양수분의 감소를 초래하며 이로 인하

TABLE 3. Regression equation for estimation actual evapotranspiration

vegetation classes	Mar. - Aug.		Sep. - Nov.	
	regression equations	R^2	regression equations	R^2
class 2	$E = -4.6584 + 51.1963\text{ndvi} + 2.0275\text{temp}$	0.8629	$E = 12.0076 + 24.6711\text{ndvi} + 0.5869\text{temp}$	0.7181
class 3	$E = 12.7019 - 129.4350\text{ndvi} + 8.6472\text{temp}$	0.8464	$E = -10.4135 + 37.9157\text{ndvi} + 2.9422\text{temp}$	0.9243
class 4	$E = -28.7969 + 149.2442\text{ndvi} + 1.4429\text{temp}$	0.9033	$E = -67.9469 + 144.8689\text{ndvi} + 1.7992\text{temp}$	0.9075
class 5	$E = -63.3284 + 179.7303\text{ndvi} + 1.8544\text{temp}$	0.8940	$E = -94.4658 + 148.7670\text{ndvi} + 2.9786\text{temp}$	0.9225

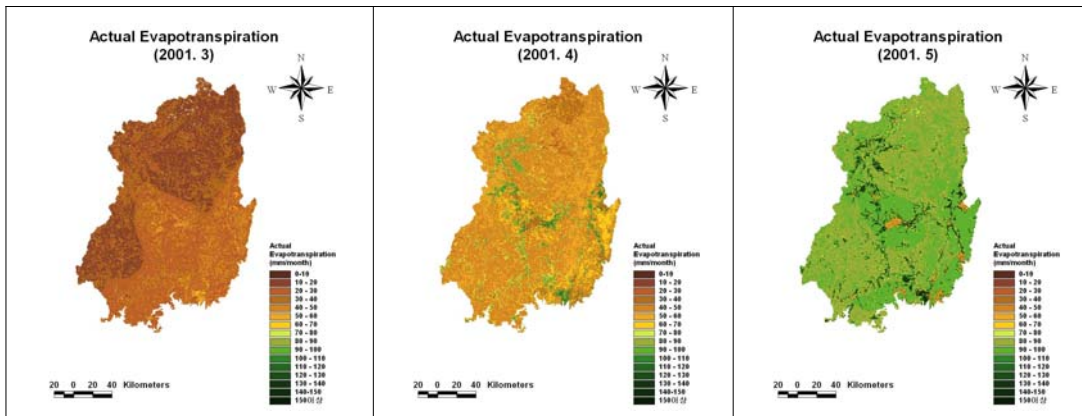


FIGURE 8. Actual evapotranspiration distribution map

여 건조화가 진행될수록 부족수분량이 발생한다. 부족수분량이 클수록 가뭄으로 이어질 가능성이 그만큼 커지게 되며 관개 등에 의해 물 공급이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 기후학적 물수지 모형에 의해 심각한 가뭄이 발생하였던 2001년을 대상으로 낙동강유역에 대한 부족수분량을 구하여 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 또한, 그림 10은 연구대상 유역에 위치하고 있는 수자원단위지도상의 대권역과

광역시/도에 대하여 3월부터 6월까지의 부족수분량을 누적한 것을 나타낸 것이다.

2001년 3월부터 경상북도 지역을 중심으로 부족수분량이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 4월에도 부족수분량은 꾸준히 증가하다가 5월에는 그 증가폭이 현저히 증가하고 있다. 이와 같은 현상은 4월과 5월에 어느정도의 강우가 발생했음에도 불구하고(그림 5) 이보다 증발산량의 크기가 더 크게 나타나 물부족은 더욱

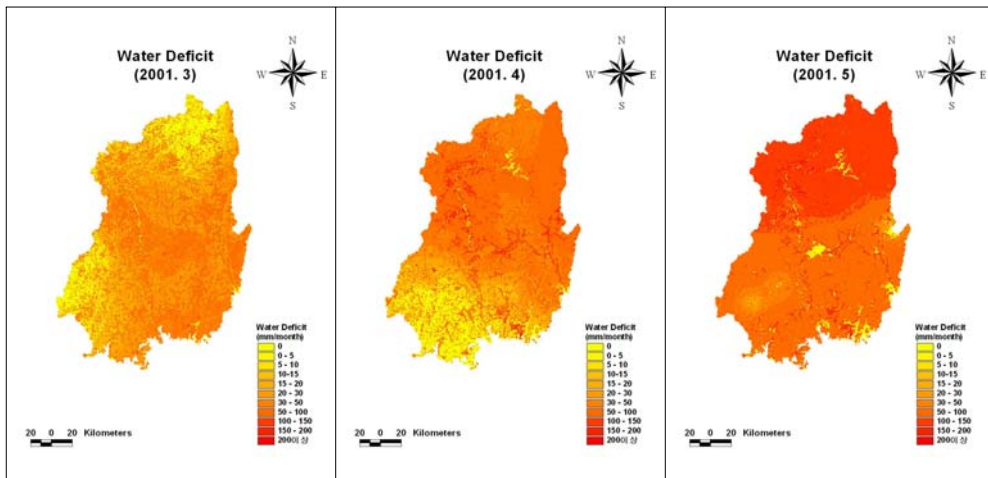


FIGURE 9. Water deficit distribution map(for 2001)

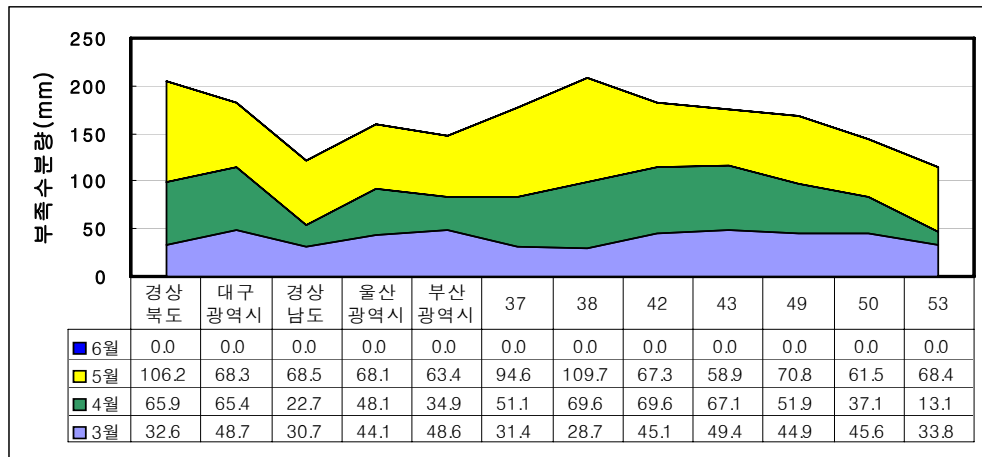


FIGURE 10. Accumulation water deficit distribution each district(for 2001)

심화되는 것이다. 2001년 3월에는 대구광역시와 부산광역시의 부족수분량이 가장 크게 나타났으나 4월과 5월로 진행하면서 경상북도의 부족수분이 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 그러나 6월의 경우 비교적 많은 강우가 발생함으로써 부족수분량은 발생하지 않으며 이번 가뭄은 해소된 것으로 나타나고 있다. 이로부터 부족수분량이 2001년의 극심한 가뭄상황을 잘 묘사해 주고 있음을 알 수 있다.

결론 및 활용방안


본 연구는 낙동강 권역에 대한 가뭄 상황을 감시하고 그 상황을 해소하기 위한 필요강우량의 산정을 위하여 인공위성 자료라는 객관적 자료에 의한 분석을 실시하였다. 가뭄평가의 방법으로 기존의 연구에서 다루어온 가뭄지수를 이용한 가뭄정도 파악의 기상학적 접근이 아닌 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 이용하여 간접적으로 가뭄을 평가하는 기법을 이용하였다. 기존에 가뭄지수로 대별되는 광역 가뭄분석에서는 지점별로 평가된 가뭄지수를 통계적 기법 등에 의해 공간적으로 분포시키는 과정을 취함으로써 지표면 특성을 적절하게 반영시킬 수 없는 한계점을 갖고 있었다. 그러나 인공위성 자료를 이용하는 분석에서는 인공위성 자료 자체가 공간적 자료로 제공되므로 지표면의 특성을 공간적으로 반영할 수 있다는 장점을 갖게 된다.

또한 가뭄의 실시간 감시를 위하여 원격탐사의 활용이 대단히 유용하다는 것을 보여주고 있으며, 비록 가뭄현상이 복잡하게 나타난다 하더라도 NDVI는 지표면의 건습을 평가하는 기본적 입력 자료로 활용될 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 원격탐사 자료의 많은 장점들은 가뭄이 되풀이되고 있는 우리나라에서 가뭄의 조기 경보를 위한 효과적인 도구로서 이용될 수 있음을 보여주고 있다. 또한 본 연구에서 사용하고 있는 MODIS 영상 자료는

현시점에서 시계열 자료의 취급이 가능하면서 어느 정도의 공간해상도를 확보할 수 있는 최선의 방안이 될 것이다.

그러나 이러한 광역적 가뭄분석의 목적은 가뭄의 조기 탐지 및 예측을 목적으로 하는 것으로 지역적인 구체적 대응 방안 모색 및 농업적 가뭄 혹은 수문학적 가뭄에 대비하기 위해서는 현장 상황을 지속적으로 감시하고 관리하는 체계가 동시에 구축되어야 한다. 궁극적으로 종합적인 가뭄관리 체계가 구축되기 위해서는 본 연구의 결과인 모니터링과 예측을 바탕으로 하는 위험관리 시스템과 현장 대응을 위한 위기관리 시스템인 지역적 가뭄관리 체계가 동시에 구축·운영되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구-위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 

참고 문헌

- 김주훈, 김경탁. 2005. LAI를 고려한 잠재증발산량 추정. 한국지리정보학회지 9(4):1-13.
- 신사철, 안태용. 2004. NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정 7(3):79-89.
- 채효석. 1998. 원격탐사와 GIS를 이용한 지표면 열수지 요소 추출기법에 관한 연구, 전북대학교 박사학위 논문.
- 채효석, 김성준, 정관수. 1999. 격자기반의 일증발산량 추정모형 개발. 한국수자원학회 32(6):721-730.
- 채효석, 송영수. 1999. Landsat TM자료를 이용한 지표면 수문인자 변화분석 2(3):46-59.
- Bayarjargal, Y., T. Adyasuren and S. Munkhtuya. 2000. Drought & Vegetation

- Monitoring in the Arid and Semi-Arid Regions of the Mongolia Using Remote Sensing and Ground Data. Proceedings of The 21st Asian Conference on Remote Sensing.
- Donker, N. H. W. 1987. WTRBLN : A Computer Program to Calculate Water Balance. *Computer & Geoscience* 13(2): 95-122.
- Kogan, F. N. 1995. Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection. *Adv. in Space Res.* 15: 91-100.
- Kogan, F. N. 1997. Global Drought Watch from Space", *Bulletin of the American Meteorological Society.* 78: 621-636.
- Legates, D. R. and J. R. Mather. 1992. An Evaluating of the Average Annual Global Water Balance. *Geographical Review* 82: 253-267.
- Palmer, W. C. 1965. *Meteorological Drought.* Research Paper No. 45, U.C. Weather Bureau, Washington D.C.
- Running, S. W. and R. R. Nemani. 1988. Relating Seasonal Patterns of the AVHRR Vegetation Index to Simulated Photosynthesis and Transpiration of Forests in Different Climates. *Remote Sens. Environ.* 24: 347-367.
- Tateishi, R. and C. H. Ahn. 1996. Mapping Evapotranspiration and Water Balance for Global