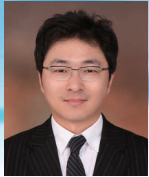


기후변화로 인한 우리나라 생태환경 변화가 수문기상특성에 미치는 영향



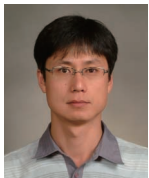
최민하 ▶▶▶

한양대학교 건설환경공학과 교수
mchoi@hanyang.ac.kr



서찬양 ▶▶▶

한양대학교 건설환경공학과 박사과정
cysur@hanyang.ac.kr



김상단 ▶▶▶

부경대학교 환경공학과 교수
skim@pknu.ac.kr



박윤경 ▶▶▶

부경대학교 환경공학과 석사과정
myminey@hanmail.net

기후 변화는 현재 온 인류가 직면한 가장 중요한 사회문제 중 하나로 우리가 대비를 해야 하는 문제이다 (Adger et al., 2005). 21세기말 지구의 평균기온이 최대 6.3°C 까지 더 상승할 것으로 보이며, 지구 평균 기온이 3.0°C 오를 경우 아시아에서 연간 700만 명이상이 홍수피해 위기에 직면하게 될 것이다(정일원,

2007; IPCC, 2007). 이러한 기후변화로 인한 기온과 강수량의 시공간적 변화는 미래의 수문순환 과정을 지금까지와는 다른 방향으로 변화시킬 수 있다.

식생은 기후인자의 변화에 순응적으로 반응을 한다. 다양한 연구에서 적용한 식생인자인 정규화 식생 지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)의 시공간적인 분포와 변동성을 확인하여, 이러한 식생인자가 수문기상 인자와의 어떠한 상관성이 있는지를 살펴보는 연구가 필요하다. 더 나아가, 새로운 식생인자로의 적용성을 찾기 위해 식생에서 발생하는 총 탄소량을 의미하는 총 일차 생산량(Gross primary Production, GPP)을 이용하여 남한 지역에서의 공간 분포 변동성과 기존 인자들과의 경향성을 확인할 수 있다 [그림 1].

[그림 1]을 통해 한반도 내에서의 총 일차 생산량의 공간 분포를 확인할 수 있다. 총 일차 생산량은 MODIS에서 제공하는 산출물로 시간 해상도는 8일 단위, 공간 해상도는 1 km를 나타낸다. 이와 같은 총 일차 생산량은 식생에서 발생하는 탄소의 양이므로 식생이 활발하게 활동하는 성장기에 높은 값을 나타내며 휴면기에는 식생의 활동이 미비하기 때문에 총 일차 생산량은 낮은 값을 나타낸다. 이처럼 탄소 순환 지표로 사용할 수 있는 총 일차 생산량의 공간 분포를 확인함으로써 수문기상인자인 증발산과 식생인자인 NDVI와의 상관성을 확인함으로써 그동안 수문순환 과정에서 미비하게 다뤄왔던 탄소 순환에 대한 개념들이 부각될 수 있으리라 생각한다.

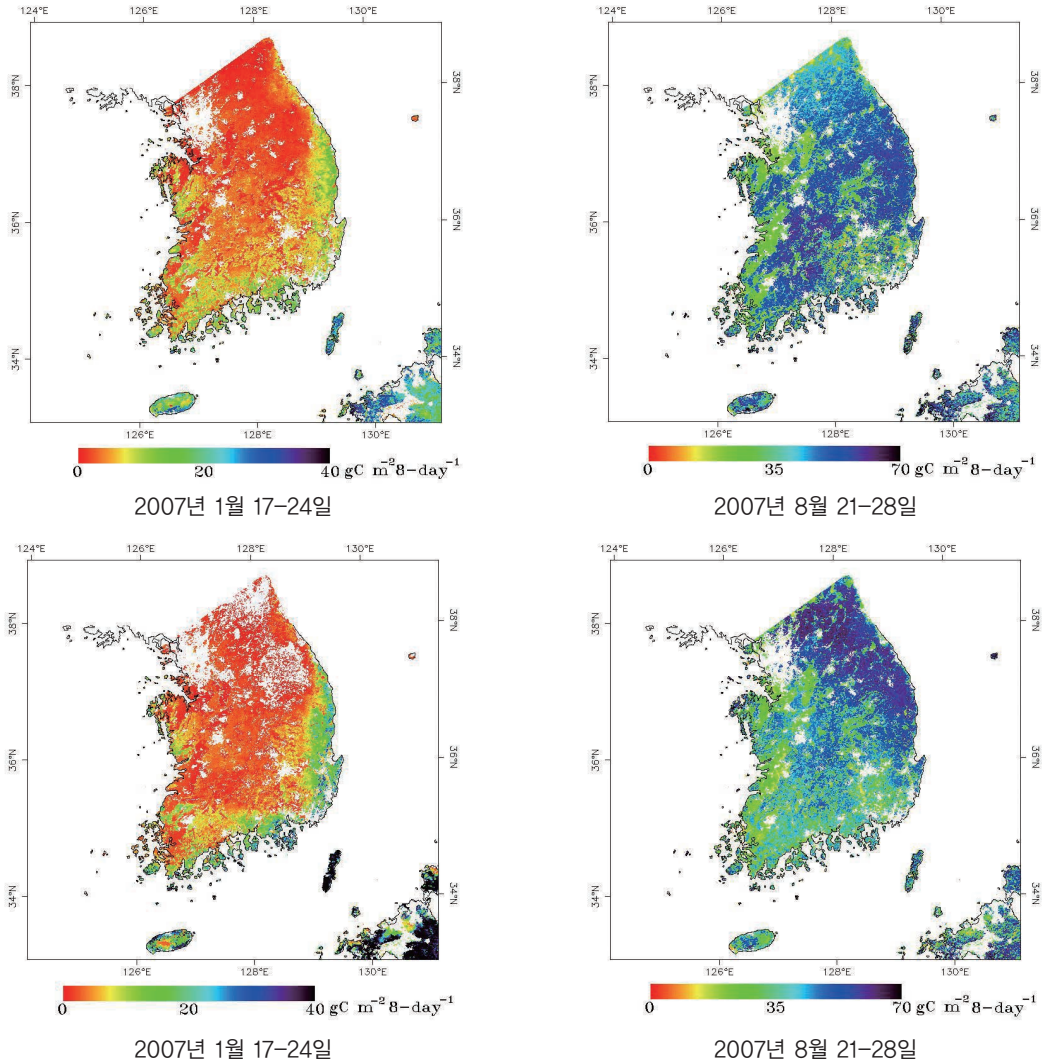


그림 1. 한반도 내에서의 총 일차 생산량(GPP) 공간 분포

총 일차 생산량과 증발산의 비로 산정할 수 있는 수분 이용 효율(Water use efficiency, WUE)은 탄소의 순환과 물의 순환을 동시에 반영하는 새로운 식생 인자로 적용할 수 있으며, 이는 향후 다양한 연구 분야에 적용할 수 있다고 사료된다. International Hydrological Program(IHP) 연구의 일환으로 총 일차 생산량과 증발산, 수분 이용 효율 값을 지점 관측 자료와의 비교 검증을 통하여 남한 지역 내에서의 적용성을 확인해 보았다. 이러한 증발산, 총 일차 생

산량과 수분 이용 효율의 관계와 경향을 비교한다면 대기과 식생 사이의 탄소와 수분의 순환관계를 파악할 수 있을 것이다. 이처럼 물수지와 식생의 관계를 예측하는 것은 지역적으로 수자원 안정성의 균형을 결정하는데 중요한 의미를 가지며, 이에 대한 연구는 몇 십 년에 걸쳐 확대되어 왔다(Horton 1919, Wicht 1941, Penman 1963, Budyko 1974, Fu 1981, Bosch and Hewlett 1982, Zhang et al. 2001). 앞선 연구들의 결과로부터 식생변화에 따라 유역의 증

발산량은 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있으며, 유역에서의 수문순환모의를 위한 연 증발산량에 관한 연구는 매우 중요한 의미를 가지게 될 것이다(Yoo et al. 2006).

현재까지 유역의 수문순환 구조와 각 수문순환 과정에 대한 이해와 관련해 많은 연구들이 진행되어져 왔으며 현재도 많은 연구자들의 관심을 받고 있다. 이전의 연구에 따르면 유역 내에 존재하는 식생은 식생의 뿌리를 통한 토양 수분 흡수, 잎에서 발생하는 증산은 유역 물수지에 영향을 미치며 그 영향성 또한 대단히 크다는 것을 밝혀내었다(Brustsaert, 1988). 이러한 사실은 유역 내 수분은 매우 다양하고 복잡한 요소(식생종류, 광합성, 영양물질 가용성, 토양 및 유역 지형구조, 기온, 이산화탄소 농도, 습도 등)들을 통해 기화량이 결정되지만 가장 큰 변수로 작용하는 것이 강수를 통해서 토양에 저장된 수분을 이용한 식생을 통한 기화량 임을 L'vovich(1979)와 Shuttelworth (1988)의 연구를 통해서도 확인 할 수 있다. Horton 지수는 Horton(1933)에서 처음 등장한 개념으로서 역의 증발산량 또는 기화량(vaporization)과 습윤량의 비(Horton 지수)를 계산한 값이다. Horton(1933)은 뉴욕주 헨콕시에 있는 델라웨어 강 서쪽 지류를 대상으로 1905년부터 1929년까지의 성장기 물수지 성분을 측정하여 Horton 지수를 산정한 결과 강수량의 큰 변동성에도 불구하고 Horton 지수가 상대적으로 일정함을 발견하였다. 이를 통해 자연 유역에서 침투된 물을 저장하고 다시 대기로 환원할 수 있는 유역의 능력은 주로 식

생에 의해서 제어되며 유역 내 물수지 연간 변동성에 큰 영향을 줄 것이라 가설을 세웠다. 그 당시 유역단위의 식생에 대한 정량적 접근이 어려워 하나의 가설로만 간주되어져 왔으나 인공위성을 이용한 원격탐사 자료와 자연환경 모니터링 기술의 발달로 관련된 연구가 활발히 진행되어 앞서 언급한 L'vovich (1979)와 Shuttelworth (1988)의 결과가 Horton의 가설이 단순히 가설에만 그치지 않음을 보여주고 있다.

[그림 2]는 유역의 물수지를 수문분할로 구분하여 나타낸 것이다. 강수(P)가 발생하면 일정부분은 지표 유출(S)을 통해 하천으로 흘러들어가고 지표유출량을 제외한 나머지 수분은 유역 내 토양에 머무르게 되는데 이를 습윤량(W)으로 표현 할 수 있다. 또한 이러한 습윤량은 식생을 통해 기화(V)되거나 지표면과 비교적 가까운 토양층을 통해서 수분이 하천으로 이동된다(U). 그림을 통해서 Horton 지수에 대해서 다시 한번 정리를 하면 유역의 기화량과 습윤량의 비로서 식생이 최대한으로 이용할 수 있는 수분량을 유역 내의 식생이 얼마나 이용하는 지에 대해서도 설명이 가능하게 된다. 또한 건조지수(A)는 Troch et al.(2009)에서 식생의 강수이용효율을 산정하기 위해 사용된 식을 변형한 것으로 유역의 잠재증발산량(PET)을 강

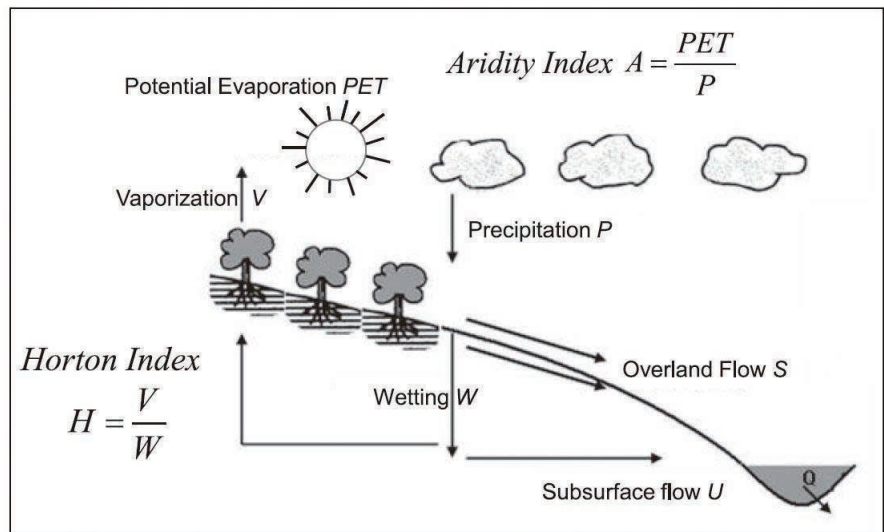


그림 2. 지표면 물수지 분할의 개념적 모형(Vopel et al. 2011)

수량(P)의 비로 나타낼 수 있다. 이 지표의 값이 크면 클수록 해당 유역은 강수량에 비해 잠재증발산량이 매우 높아 유역의 건조하다는 것을 의미하며 이는 유역에 발생한 강수에 대해서 식생의 이용효율이 높다는 것을 의미한다.

하지만 단순히 유역의 물수지를 기후요소로만 설명하기는 충분치 않다. 이에 많은 연구자들은 유역의 공간적인 특성에 주목하여 유역 내 기후 뿐 만 아니라 유역의 특성을 설명할 수 있는 지형이나, 식생특성을 통하여 유역의 물수지 구조를 이해하고자하는 연구를 진행하고 있다. Thompson et al.(2011)은 유역 내의 수분이 배출되기 위해 횡적인 흐름에서 보다 공간적

인 특성에 큰 영향을 받는다고 가정하였다. 이에 유역의 수문학적 반응에 대해서 수분의 흐름보다는 식생의 공간적 패턴에 주목하여 물수지의 지형적인 의존도와 식생분포에 대한 영향에 집중하여 유역 물수지를 구조화하는 연구를 진행하였다. 이와 같은 연구결과를 살펴보면 단순히 유역의 물수지 및 수문구조는 기후적인 요소 뿐만 아니라 공간적인 특성에 대해서도 영향을 받게 될 것이라 추측할 수 있다. 이러한 식생활동의 변화가 수문기상특성에 미치는 영향을 파악함으로써 기후변화에 대응할 수 있는 시스템을 구축하는데 있어 큰 힘이 되리라 생각한다. 