

미래 식생분포 변화에 따른 영산호 유역의 증발산량 연구

The Behavior of Evapotranspiration in Youngsan Lake Watershed by Future Vegetation Change Prediction

신형진*, 박근애**, 박민지*, 박종윤*, 김성준***

Hyung Jin Shjn, Geun Ae Park, Min Ji Park, Jong Yoon Park, Seong Joon Kim

요 지

본 연구에서는 미래 기후변화 시나리오를 이용하여 우리나라의 미래 산림식생 분포 변화를 예측하고 이를 SWAT 모형에 적용하여 영산강호유역의 증발산량 변화를 분석하고자 하였다. 현 기상관측자료(1971~2000)를 이용하여 현재의 기후를 판정하고, 기상청에서 제공한 GCM(MIROC3.2)의 통계학적 다운스케일링으로 구성된 RCM 자료를 이용하였다. 산림식생의 분포는 임상도에 의한 현존 식생군락과 환경인자(강수량, 기온, 지형인자, 토양유기물 함량 등)간의 상관분석을 실시하여 상관관계가 높은 주요 환경변수들을 결정하고, 이들을 종속변수로 하는 다항로짓모형을 구성하여 추정하였다. 이 모형을 이용하여 미래의 주요 환경변수들을 입력, 미래 2020s, 2050s, 2080s의 우리나라 산림식생 분포를 예측하였다. 예측된 산림식생 분포를 적용하여 미래 증발산량을 분석하기 위해 남쪽의 따뜻한 지역으로서 활엽수림이 있는 영산호유역(3,455.0km²)을 선택하였다. 1998~2002 5년간의 유출량 자료를 이용 모형을 보정하였다. 모형의 검증은 보정 매개변수의 평균값들을 통해 2003~2008년 유출량을 모의 하였다. 예측된 미래식생분포를 이용하여 토지이용도를 재구축하였으며 재구축 결과 활엽수는 715.2km² 늘어나며 혼효림은 현재에 비해 2080s에 167.1km² 침엽수는 548.1km² 줄어드는 경향을 보였다. 영산호유역에서는 미래의 증발산량이 증가하며, 식생분포를 고려하였을 경우 2080s년에는 고려하지 않은 경우에 비해 약 4.52mm 감소하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 증발산, 산림식생분포, 기후변화

1. 서 론

지구온난화가 진행됨에 따라 나타나는 기후변화는 인류와 지구환경의 모든 분야에 걸쳐 그 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 이산화탄소 가스의 흡수원인 산림은 지구온난화로 인한 기후변화를 저감시키는 역할을 수행하는 매우 중요한 인자로 이에 대한 관심이 매우 커지고 있다. 기후조건과 산림생태계와의 상호작용을 이해하고 규명함으로써 식생에 미치는 영향을 평가하고 예측하는 것은 인류에게 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 기후변화에 따른 식생부문의 영향예측에는 다양하고, 매우 많은 양의 자료의 통합적인 구축 및 이용이 요구된다. 지금까지 증발산량을 산정하기 위한 여러 가지 방법이 개발되어 왔다. 그러나 지표면에서 발생하는 증발산량을 지배하는 복잡한 지형 특성 및 토지 이용등을 고려하여 정확한 증발산량을 산정한다는 것은 불가능에 가까운

* 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : shjin@konkuk.ac.kr, iang@konkuk.ac.kr, bellyonk@konkuk.ac.kr

** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후과정 · E-mail : dolpin2000@konkuk.ac.kr

*** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

일이다. 1980년대 중반 이후부터 대기모형의 입력자료로 요구되는 증발산량을 제공하기 위하여 물리적 이론을 바탕으로 한 SVATs가 많이 개발 되었다. 기상자료와 더불어 토양 특성과 식생군의 분포 자료를 이용하여 수분과 열의 지표면에서의 흐름을 예측, 토양의 함수량, 온도 등의 상태변수를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 영산호유역을 대상으로 미래 산림식생분포를 예측하고 이를 수문모형에 적용하여 미래 증발산량의 변화를 분석하였다.

2. 다항로짓 회귀분석을 이용한 식생분포변화

2.1 입력자료 구축

미래식생분포 예측을 위해 구축된 산림식생분포도와 5가지 환경인자인 고도, 최난월온도, 여름 강수량, 염기포화도, 토양유기물에 대하여 해상도 500m로 구축하였다. 최적의 식생분포예측을 위해 해상도별 (500m, 1km, 4km, 10km, 20km) 민감도 분석을 한 결과 4km해상도가 최적으로 분석되었다(그림 1).

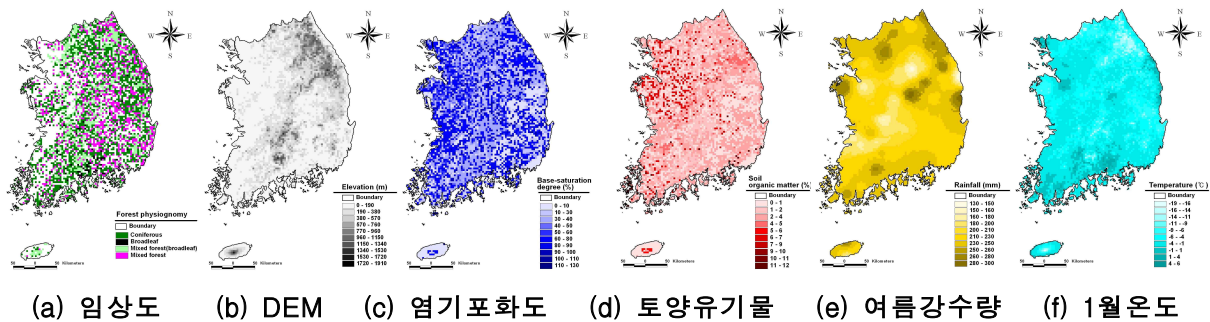


그림 1. 입력자료 (4km 해상도)

2.2 산림식생과 환경변수의 상관관계

산림식생과 구축된 환경변수 고도, 온도, 강수량, 토양등의 상관관계를 분석한 결과 표 1과 같이 나타났으며 그중 상관관계가 큰 고도, 최난월온도, 여름 강수량, 염기포화도, 토양유기물의 총 5가지 인자를 상관성이 높은 인자로 선택하였다.

표 1. 환경변수와의 상관관계

환경변수	상관계수	환경변수	상관계수
고도[DEM]	0.62	최한월온도	- 0.69
최난월온도	- 0.58	봄평균기온	- 0.53
여름 평균기온	- 0.54	가을 평균기온	- 0.54
겨울 평균기온	- 0.44	연 평균기온	- 0.50
토양[염기포화도,토양유기물]	0.55	봄 강수량	0.09
여름 강수량	0.38	가을 강수량	0.08
겨울 강수량	0.01	연 강수량	0.02

2.3 다항로짓 회귀분석에 의한 식생분포 예측

상관관계가 큰 고도, 최난월온도, 여름 강수량, 염기포화도, 토양유기물의 총 5가지 인자를 상관성이 높은 인자로 선정된 환경변수를 이용하여 다항로짓모형을 통한 통계분석을 실시한 결과 다음과 같은 관계식을 도

출하였다(Table 3.4.5).

표 2. 산림식생과 환경변수의 관계식

식생	다항로지 회귀식					
침엽수	- 5.8543	- 0.0032 A	- 0.0088 B	+ 0.0066 C	+ 0.0183 D	- 0.1158 E
활엽수	- 7.6284	- 0.0069 A	+ 0.0728 B	+ 0.0077 C	+ 0.0181 D	+ 0.5555 E
활엽수혼효림	- 6.7188	- 0.0076 A	+ 0.2214 B	+ 0.0090 C	+ 0.0096 D	- 0.3283 E
혼효림	- 7.0664	- 0.0106 A	+ 0.1545 B	+ 0.0073 C	+ 0.0194 D	- 0.1894 E

A:엽기포화도, B:토양유기물, C:DEM, D:30년 평균 여름 강우량, E:30년 평균 1월 온도

2.4 다항로지 회귀식에 의한 미래식생분포 예측

다항로지 회귀식에 의한 미래식생분포 예측 결과 침엽수는 현재에 비해 2080s -3568km² 줄어들며, 활엽수, 활엽수혼효림, 혼효림은 464km², 2704km², 400km² 늘어나는 것으로 분석되었다.

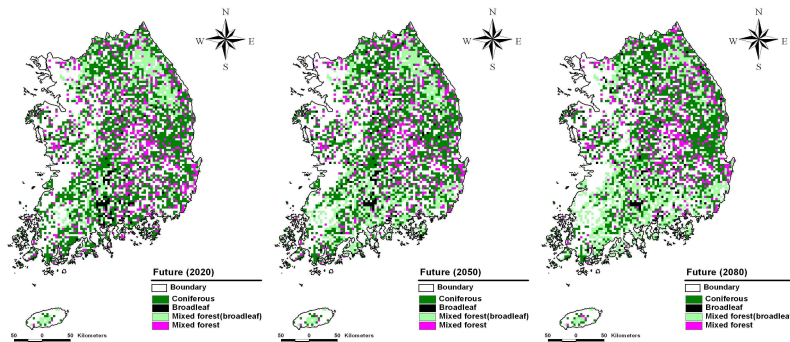


그림 2. 2020s, 2050s, 2080s 미래 예측된 산림분포도

3. 식생분포 변화에 따른 증발산량 변화

3.1 대상유역 선정

본 연구의 대상유역은 남쪽의 따뜻한 지역으로서 활엽수림이 있는 영산호유역을 선택하였다. 영산호유역의 유역면적은 3455.0km²이며 산림면적은 1749.0km²로 총면적의 51%를 차지하고 평균고도는 121.2m이다.

3.2 모형의 입력자료 구축

대상지역의 기상기상관측자료는 최고·최저·평균온도, 강수량, 이슬점온도, 풍속, 일조시간, 상대습도 등이며 1998년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지의 기상자료를 입력하였다. 수문자료는 일 단위 댐 유입량 자료를 사용하였다. DEM은 지형 및 지표면의 특성을 분석함으로써 지형적 매개변수를 결정하는 방법으로 이용된다. 본 연구에서는 1:5,000 NGIS 수치지도를 사용하여 DEM을 구축하였다. 토지피복도는 Landsat TM 영상을 사용하여 2000년 토지피복도를 8개의 항목(수역, 시가지, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭)으로 감독 분류하여 생성하였으며 토양도는 1: 25000 정밀토양도를 이용하였다(그림).

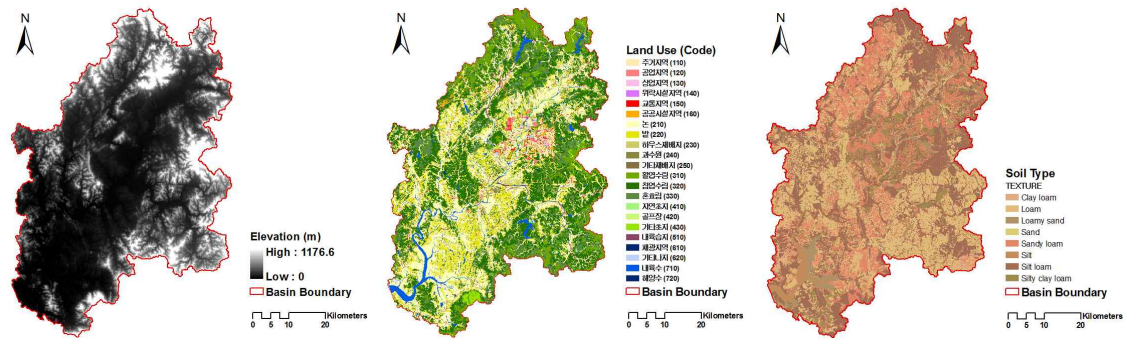


그림 3. 영산호유역의 DEM, 토지피복도와 토양도

3.3 모형의 검 · 보정

본 연구에서는 영산호 유역에 대해 1998~2002 5년간의 유출량 자료를 이용 모형을 보정하였다. 모형의 검증은 보정 매개변수의 평균값들을 통해 2003~2008년 유출량을 모의 하였다. 그 결과 유출 경향을 효과적으로 반영하고 있다. SWAT 모형의 매개변수 최적화를 위해 민감도분석과 SCE-UA 최적화기법(Duan 등, 1994)을 이용하였으며 매개변수추정의 최적화 척도로 Nash-Sutcliffe(Nash와 Sutcliffe, 1970) 모형효율을 사용하였다.

3.4 예측된 미래식생분포 유역별 구축

예측된 미래식생분포를 이용하여 토지이용도를 재 구축하였으며 활엽수는 715.2 늘어나며 혼효림은 현재에 비해 2080s에 167.1km² 침엽수는 548.1km² 줄어드는 경향을 보인다.

표 3. 영산호 유역의 식생분포 변화 면적

식생	Present [km ²]	2020s [km ²]	2050s [km ²]	2080s [km ²]	Difference [km ²]
활엽수	85.0	380.2	632.7	800.2	715.2
혼효림	194.8	119.6	33.0	27.7	-167.1
침엽수	1,413.4	1,193.4	1,027.4	865.3	-548.1

3.5 미래식생변화에 따른 증발산량 변화

미래식생변화를 고려한 모형 모의 결과 영산호 유역은 강수량이 현재 1349.18mm, 2020s 1262.39mm, 2050s 1362.60mm, 2080s 1369.89mm 로 현재보다 각각 -86.79mm, 13.42mm, 20.72mm로 증가하였으며, 이에 따른 증발산량의 변화는 다항로지회귀분석을 통한 미래 식생변화를 고려하지 않았을 시 각각 2020s 491.37mm, 2050s 540.79mm, 2080s 584.56mm 로 현재보다 각각 17.02mm, 66.44mm, 90.21mm로 증가하는 경향을 나타냈으며 미래 식생변화를 고려 하였을 시 각각 -1.57mm, +3.01mm, -4.52로 나타났다(Fig3.4.24).

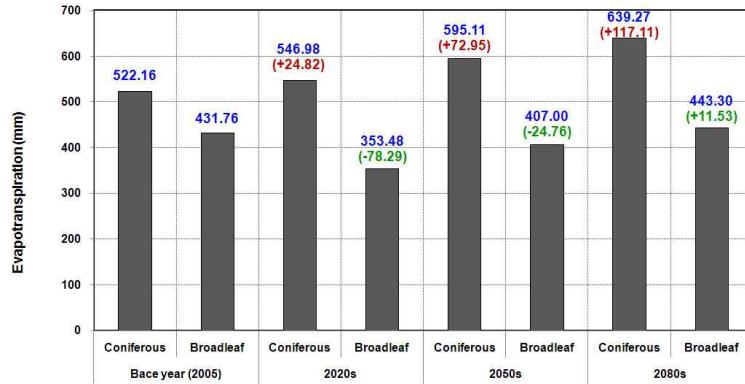


그림 4. 영산호 유역의 침엽수, 활엽수의 증발산량 변화

4. 결론

기후변화에 따른 식생분포의 변화를 분석하기 위해 다항로지 회귀분석을 위한 입력자료 [임상도, 토양도, 고도, 기온, 강수]를 구축하였으며, 산림식생 [임상도로부터 재분류]과 환경변수 [고도, 토양, 기온, 강수]들의 상관관계분석을 통하여 고도, 토양의 요소인 염기포화도, 토양유기물, 기온의 요소인 최한월, 강수의 요소인 여름평균강수 등 5가지 요소가 가장 큰 상관성을 보이는 것으로 판단하였다. 5가지 선정된 환경변수와 산림식생간의 다항로지 회귀분석을 실시하여 현재 및 미래 식생분포를 예측하였다.

식생분포에 따른 증발산량 변화를 분석하기 위하여 영산강유역의 영산호유역을 대상으로 식생분포를 고려한 토지이용도를 재구축하여 SWAT2005모형에 적용하였으며, 재구축된 토지이용도는 영산호유역에서는 침엽수가 감소, 활엽수가 증가하는 경향을 나타내었다. 모형에 적용 결과, 영산호유역에서는 미래의 증발산량이 증가하며, 식생분포를 고려하였을 경우 2080년에는 고려하지 않은 경우에 비해 약 4.52mm 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 증발산량이 높은 침엽수의 감소와 증발산량이 비교적 작은 활엽수의 증가로 인한 결과로 판단된다. 영산호유역을 중심으로 증발산량을 침엽수와 활엽수별로 살펴본 결과, 침엽수의 증발산량이 활엽수의 증발산량에 비해 약 100mm에서 200mm 큰 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : 1-9-3)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles." *J. Hydrol.* Vol. 10, No. 3, pp. 282-290.