

# 유역내 식생변화에 따른 증발산 및 유출 변화

## Variation of evapotranspiration and runoff with vegetation change in a watershed

김남원\*, 김철겸\*\*

Nam Won Kim, Chul Gyum Kim

### 요 지

본 연구에서는 유역내 식생변화에 따른 장기적인 측면에서의 유역 물수지 변화를 살펴보기 위하여, 보청천 유역을 대상유역으로 선정하고, 준분포형 매개변수 모형인 SWAT 모형을 적용하여, 다양한 식생변화 시나리오에 따른 증발산, 지표수, 지하수, 유출의 변화를 검토하였다.

침엽수, 활엽수, 밭, 초지의 식생별 물수지 영향과, 침엽수에서 다른 식생으로의 변화에 따른 유역 물수지 영향을 비교해 본 결과, 산림식생의 강우 차단 영향으로 증발산 증가, 유출 감소의 영향을 뚜렷하게 파악할 수 있었으며, 특히 침엽수가 활엽수에 비해 증발산 증가 및 유출 감소에 더 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 밭의 경우에는 이와 반대로 강우 차단 효과가 미흡하여 다른 식생에 비해 증발산의 감소 및 유출의 증가가 크게 나타나는 것으로 파악되었다.

**핵심용어** : 토지이용변화, 증발산, 장기유출, SWAT

## 1. 서론

장기유출에 영향을 주는 유역내 토지이용 변화는 산림식생 변화, 농업용수 이용, 도시화 등의 인위적인 변화에 가장 크게 좌우되며, 이러한 변화는 유역내 강우, 증발산, 지표수, 지하수, 토양수분 등 유역 전반에 걸친 수문현상에 많은 영향을 준다. 이와 같은 토지이용 변화에 따른 수문학적 영향 평가에 대한 기존의 대부분 연구는 직접유출, 침투유출 등과 같은 강우사상에 대한 모의를 이용하여 수행되어 왔다 (Linsley, 1981). 그러나, 장기유출에 있어서는 간헐적인 대규모의 강우사상보다는 수 개의 작은 강우사상들에 의해 더 많은 영향을 받게 된다 (최진용, 2002). 이러한 장기유출에 대한 영향을 평가하기 위해서는 보다 많은 기상학적, 지형학적 자료가 필요하며, 이러한 자료가 충분하지 않을 경우, 정확한 모의 및 평가를 수행하는데 어려움을 겪게 된다.

본 연구에서는 이러한 장기유출 해석을 위해 물리적 매개변수를 취하는 준분포형 유역관리 모형인 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 토지이용 변화에 따른 물수지 변화를 살펴보았다. 특히, 위의 여러 요인 중 산림식생의 변화에 따른 영향을 평가하기 위해 대상유역을 가상의 토지피복을 가지는 유역으로 설정하여, 유역내 식생에 따른 물수지 영향을 평가하고, 또 장기적인 측면에서의 수문변화를 분석하기 위해 식생변화에 따른 유역 물수지 변화를 정량적, 정성적으로 검토하였다.

## 2. 대상유역 선정

대상유역으로서 IHP 대표유역 중의 하나인 금강수계의 보청천 유역을 선정하였으며, 선정된 하천구간 및 유역은 그림 1에 나타난 바와 같이 기대교 상류 유역으로서 유역면적은 348.15 km<sup>2</sup>이며, 농경지 면적은 57.79 km<sup>2</sup>로서 유역의 16.6%를 차지하고 있다. 유출 해석을 위해 산성교, 탄부교, 기대교 수위표 지점을 기준으로 3개의 소유역으로 구분하였으며, 이에 대한 토지이용 현황은 표 1과 그림 2에 나타난 바와 같다.

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : [nwkim@kict.re.kr](mailto:nwkim@kict.re.kr)

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : [cgkim@kict.re.kr](mailto:cgkim@kict.re.kr)

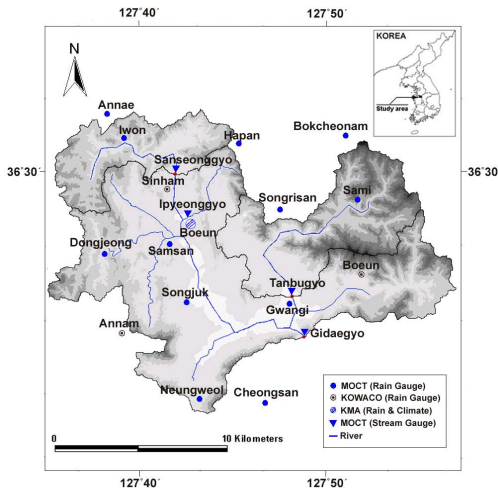


그림 1. 보청천 유역 유역도

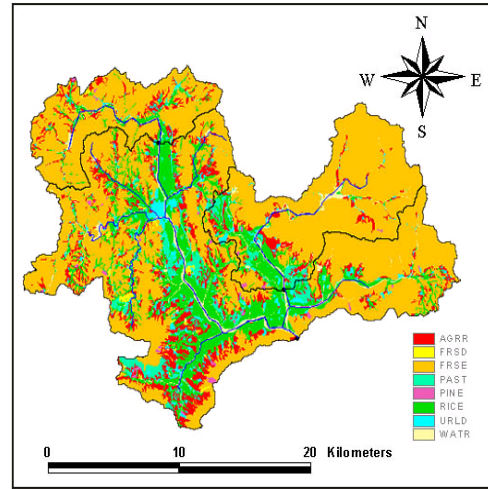


그림 2. 보청천 유역 토지이용도

표 1. 대상유역 소유역 구분 및 토지이용 현황

구분	유역 전체		산성교 유역		탄부교 유역		기대교 유역	
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
침엽수	216.10	62.07	37.66	78.54	59.59	75.60	118.85	53.69
논	57.79	16.60	3.42	7.14	7.49	9.50	46.88	21.18
밭	36.29	10.42	4.49	9.36	4.87	6.18	26.93	12.17
주거지	13.36	3.84	1.02	2.12	1.75	2.22	10.58	4.78
물	11.01	3.16	0.91	1.90	2.68	3.42	7.42	3.34
초지	9.94	2.86	0.10	0.21	2.12	2.68	7.73	3.49
소나무	1.95	0.56	0.12	0.25	0.32	0.40	1.51	0.68
활엽수	1.71	0.49	0.23	0.48	0.00	0.00	1.48	0.67
계	348.15	100.00	47.95	100.00	78.82	100.00	221.39	100.00

### 3. 식생변화 시나리오

우선 식생변화 시나리오를 크게 두 부분으로 나누어 검토하였다. 하나는 각 식생별 영향을 파악하기 위해 유역을 한 개의 토지피복 (침엽수, 활엽수, 밭, 초지)을 가지는 가상유역으로 설정하였으며, 다른 하나는 현재 유역내 토지피복 중 가장 큰 비율을 차지하고 있는 침엽수림에 대해 각각 활엽수, 밭, 초지로 바뀌었다고 가정하였을 경우의 수문변화를 검토하였다. 이 때 산림지 (침엽수, 활엽수)에 대한 엽면적지수의 모형에서의 입력치는 4로 적용하였다.

### 4. 식생변화에 따른 유역 물수지 변화

#### 4.1 식생에 따른 물수지 영향 검토

그림 3~그림 6은 1992~1995년에 대해 월별로 각 토지피복별 (침엽수, 활엽수, 밭, 초지) 증발산, 지표수, 지하수, 총 유출을 모의한 결과이다.

증발산의 경우, 현재의 토지피복에 비해 침엽수 (FRSE)일 경우 증가하였으며, 나머지 활엽수 (FRSD), 밭 (AGRR), 초지 (PAST)의 경우는 감소하는 경향을 보였는데, 활엽수일 경우 감소된 이유는 이미 현재의 토지 피복상태 중에서 활엽수보다 증발산량이 많이 발생하는 침엽수 (62%)와 논 (16.6%) 지역이 전체 면적의 상당부분을 차지하고 있기 때문에 활엽수로 변환되었을 경우 감소될 수밖에 없기 때문이다. 밭, 초지 등에 대해서도 마찬가지로 이유로 인하여 현재보다 감소하는 것으로 나타났다.

지표수의 경우는, 발인 경우를 제외하고는 모두 현재보다 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 산림화되었을 경우 식생차단의 영향으로 침엽수, 활엽수 모두 상당부분 감소하는 경향을 나타내었다. 밭의 경우는 차단 효과가 작기 때문에, 강우량이 클수록 지표수가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 초지화되었을 경우는 현재와 비슷한 경향을 나타내었다.

지하수의 경우는, 지표수와 반대로 밭을 제외하고 현재보다 모두 증가하는 경향을 보였으며, 특히 초지와 활엽수 상태일 때 크게 증가하였으며, 침엽수일 경우는 건기보다 우기에 강우 차단 효과로 인해 그 차이가 큰 것으로 나타났다.

총 유출에 대한 영향은 밭>초지>활엽수>침엽수의 순으로 나타나, 침엽수의 유출 감소 효과가 큰 것을 알 수 있었다.

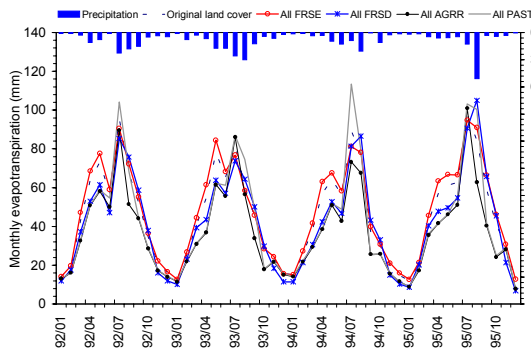


그림 3 식생에 따른 증발산 변화

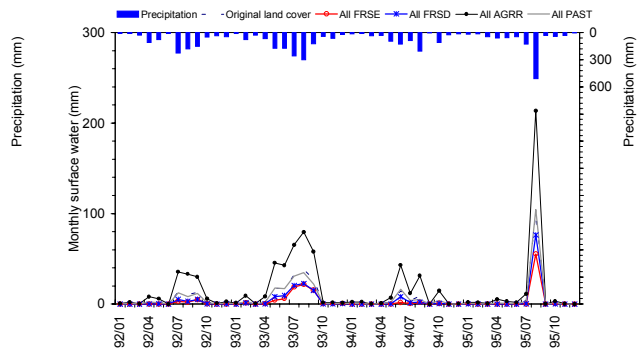


그림 4 식생에 따른 지표수 변화

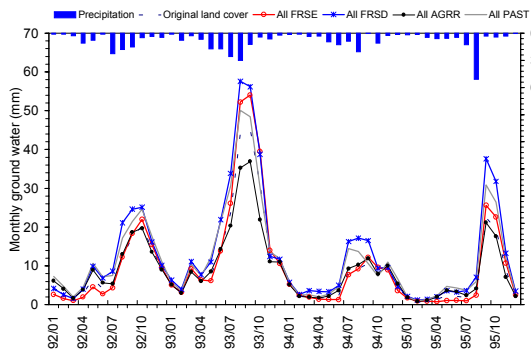


그림 5 식생에 따른 지하수 변화

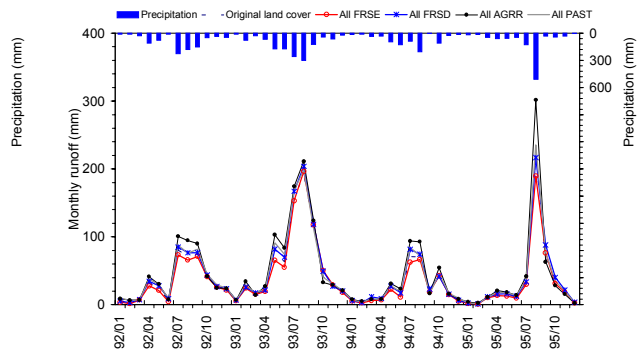


그림 6 식생에 따른 총 유출 변화

표 2 및 그림 7과 같이 10년간 모의된 평균치를 비교해 본 결과, 증발산은 침엽수>활엽수>초지>밭, 지표수는 밭>초지>활엽수>침엽수, 지하수는 활엽수>초지>침엽수>밭, 총 유출은 밭>초지>활엽수>침엽수의 순으로 유역 물수지에 영향을 주는 것으로 나타났다.

표 2. 식생에 따른 유역 물수지 변화

(단위: mm)

토지피복상태	증발산 ET	지표수 SURQ	지하수 GWQ	총 유출 Runoff
현재 상태	583	148	160	670
모두 침엽수	614	79	175	646
모두 활엽수	540	92	211	710
모두 밭	468	320	146	786
모두 초지	512	145	200	738

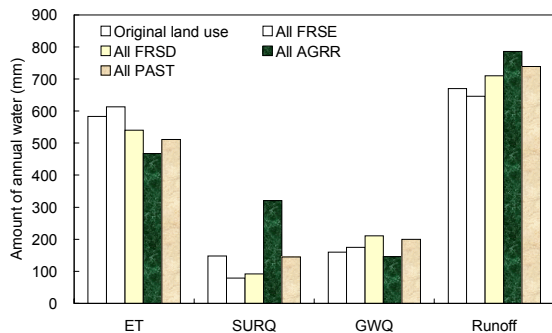


그림 7. 식생에 따른 유역 물수지 변화

#### 4.2 유역내 식생 변화에 따른 물수지 영향 검토

그림 8~그림 11은 현재 유역내 토지피복 중 가장 큰 면적을 차지하고 있는 침엽수 지역이 다른 토지피복 (활엽수, 밭, 초지)으로 변환되었다고 가정하였을 경우, 증발산, 지표수, 지하수, 총 유출에 대한 영향을 나타낸 것이다.

증발산의 경우, 현재 피복상태보다 모두 감소한 결과를 보였으며, 특히 침엽수 지역이 밭으로 바뀌었다고 가정했을 때 가장 큰 감소를 나타내었다. 초지로 변화했을 경우 7, 8월경에는 반대로 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 작물의 성장특징상 7, 8월경에 초지의 생장이 활발하기 때문인 것으로 파악된다.

지표수의 경우, 대부분 현재에 비해 증가하는 경향을 보였으며, 특히 밭으로 변환된 경우 강우시에 큰 증가를 나타내었다. 이는 앞서 살펴본 바와 같이 침엽수에 비해 밭에서의 강우 차단 효과가 현저하게 낮기 때문에 비롯된 결과로 보인다.

지하수의 경우, 밭으로 변환된 경우만 감소되었으며, 활엽수 또는 초지로 변환된 경우는 현재보다 약간 증가한 결과를 보였다.

총 유출의 경우, 모두 현재보다 약간씩 증가하였으며, 밭으로 된 경우 가장 큰 증가를 보였다.

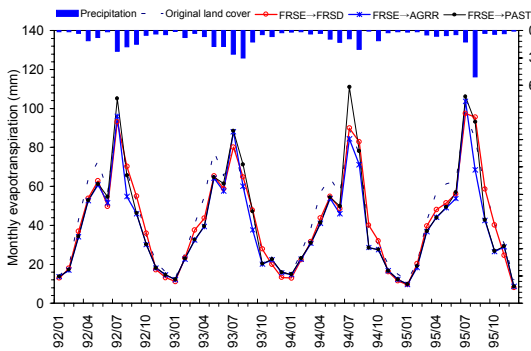


그림 8. 유역내 식생변화에 따른 증발산 변화

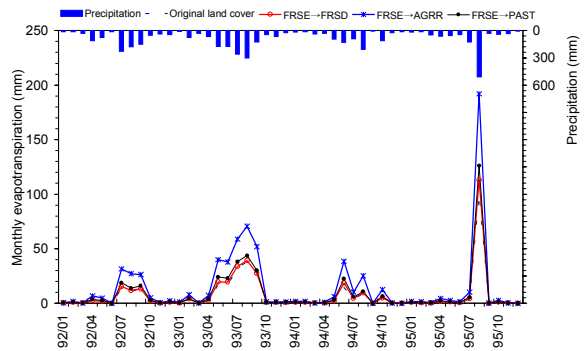


그림 9. 유역내 식생변화에 따른 지표수 변화

표 3과 그림 12에 나타난 바와 같이, 1990~1999년의 10년 평균 물수지를 비교해 보면, 증발산은 침엽수→활엽수>침엽수→초지>침엽수→밭의 순으로 영향을 미치고 있으며, 지표수는 밭>초지>활엽수, 지하수는 활엽수≒초지>밭, 총 유출은 밭>초지>활엽수의 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

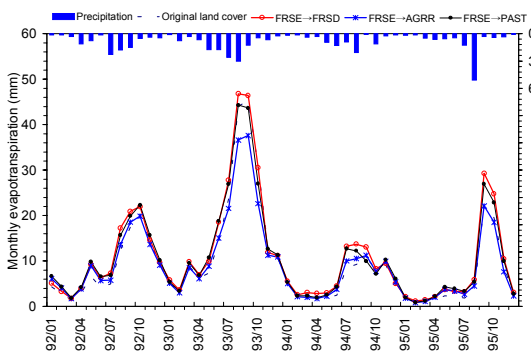


그림 10. 유역내 식생변화에 따른 지하수 변화

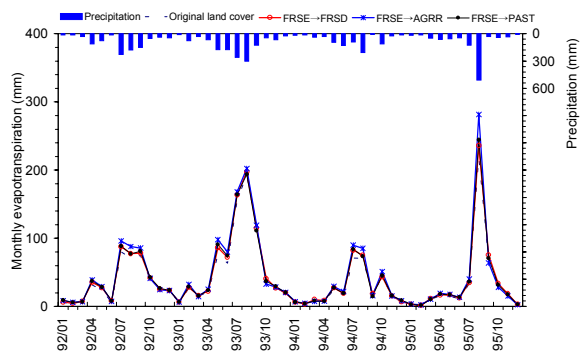


그림 11. 유역내 식생변화에 따른 총 유출 변화

표 3. 유역내 식생변화에 따른 물수지 변화

(단위: mm)

토지피복상태	증발산 ET	지표수 SURQ	지하수 GWQ	총 유출 Runoff
현재 상태	583	148	160	670
침엽수→활엽수	539	156	179	708
침엽수→밭	493	286	151	754
침엽수→초지	521	181	178	724

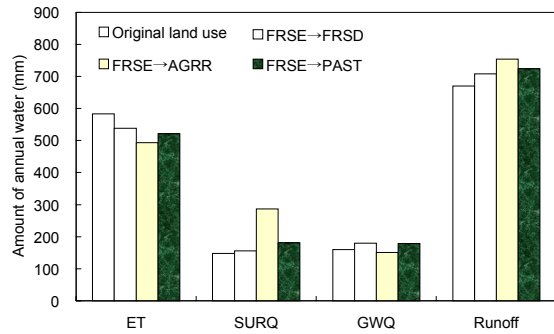


그림 12. 유역내 식생변화에 따른 물수지 변화

## 5. 요약 및 결론

본 절에서는 유역내 인위적인 토지이용 변화 중 우리나라 유역에서 많은 비중을 차지하고 있는 산림식생에 의한 영향을 보다 정량적으로 규명하기 위해서, 보청천 유역을 대상유역으로 선정하고, 물리적 매개변수 모형인 SWAT 모형을 적용하여 식생피복의 변화에 따른 장기적인 유역 물수지 변화 영향을 검토하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 식생변화에 따른 영향 검토를 위하여 대상유역을 하나의 토지피복 상태를 가지는 가상의 유역으로 설정하여, 각 식생별 (침엽수, 활엽수, 밭, 초지) 증발산, 지표수, 지하수, 총 유출에 대한 영향을 검토하고, 또한 현재 유역내 토지피복 중 가장 큰 면적을 나타내는 침엽수가 다른 식생으로 변화되었다고 가정하였을 때의 물수지 변화를 검토하였다.

(2) 침엽수, 활엽수, 밭, 초지의 식생별 물수지 영향 검토에서는, 증발산은 침엽수>활엽수>초지>밭, 지표수는 밭>초지>활엽수>침엽수, 지하수는 활엽수>초지>침엽수>밭, 총 유출은 밭>초지>활엽수>침엽수의 순으로 나타나, 밭이나 초지보다 산림지역이 증발산 증가 및 유출 감소 효과가 큰 것으로 파악되었다.

(3) 유역내 현재 토지피복 중 침엽수가 다른 피복상태로 변화되었다고 가정하여 물수지 영향을 검토한 결과, 증발산은 산림식생인 활엽수로 변화한 경우 가장 크게 나타났으며, 유출은 식생차단 효과가 제일 미흡한 밭으로 변화한 경우 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원 (과제번호 2-2-1)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 최진용 (2002). 토지이용변화에 따른 수문영향 분석, 한국농공학회지, 44(5), pp. 54-66.
2. Linsley, R. K. (1981). Rainfall-runoff models: An overview, In proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling, Mississippi State University, Mississippi State, USA, ed. Singh, Vijay P., : Water Resources Publications.