

침엽수 산림에서의 토양수분 모니터링과 감쇄특성 분석

Soil Moisture Monitoring and Recession Characteristics Analysis in Conifer Forest

홍은미*, 최진용**, 유승환***, 남원호****, 이태석*****

Eun mi Hong, Jin Yong Choi, Seung Hwan Yoo, Won Ho Nam, Tae Seok Lee

요 지

우리나라 면적의 약 67%에 이르는 660만ha의 산림 중 침엽수림은 혼효림을 포함하여 약 74%를 차지해 활엽수림보다 넓게 분포하고 있다. 이와 같이 넓은 산림은 가뭄, 홍수와 같은 수문현상과 관련이 있으며 강우에 따른 유출에의 기여하는 바가 클 뿐만 아니라 강우, 증발산, 침투 유출에 이르는 다양한 수문현상이 복합적으로 나타난다. 특히, 최근 임목밀도의 증가가 오히려 증발산량의 증가, 옆면에 의한 강우 차단량의 증가 등을 발생시켜 가뭄과 홍수 또는 산사태의 원인이 될 수 있으며, 수자원 함양을 저해하는 요소로 작용하고 있다는 우려의 목소리가 나오고 있다. 따라서 산림지역의 증발산과 관련 있는 토양수분의 지속적인 모니터링과 감쇄특성 및 토양수분 환경에 대한 연구는 중요한 요소 연구가 될 수 있다. 봄에서 여름으로 진행되는 시기에는 강우발생에 비해 수목의 생육이 활발하여 증발산에 따른 토양수분 변화 및 감소가 급격하게 일어나며, 여름에는 토양수분의 감소도 뚜렷한 반면, 강우사상도 많이 발생하여 이에 따른 변화폭이 크게 나타난다. 또한, 가을에서 겨울로 진행되는 시기에는 수목의 생육의 둔화와 기온 하강으로 인하여 토양수분 감쇄현상 및 변화가 적게 나타나 토양수분의 변화양상이 계절마다 다르게 나타난다. 이에 토양수분의 감쇄현상을 파악하면 곧 산림지역에서의 증발산량 및 토양수분 소비특성을 파악할 수 있기 때문에, 산림에서 실제 토양수분 모니터링과 이를 통한 시간별, 깊이별 토양수분 변화 및 감쇄현상을 파악하는 것은 중요하다. 따라서 본 연구에서는 침엽수 산림에서의 토층별 월별 토양수분의 감쇄특성을 분석하기 위하여 침엽수림에서 토양수분 장기 모니터링 시스템을 구축하여 시간별, 토층별 토양수분 모니터링을 실시하고, 이를 바탕으로 침엽수림에서의 토양수분 감쇄현상을 분석하였다. 또한 토양수분 데이터 및 기상자료를 활용하여 월별, 기간별 토양수분 감쇄곡선을 산정하고 감쇄상수를 비교하였으며, 감쇄특성에 대하여 비교 분석하였다.

핵심용어 : 침엽수림, 토양수분 모니터링, 토양수분 감쇄 특성

1. 서론

토양수분은 토양입자나 공극사이에 존재하는 물로써 토양 중에서 이동하거나 식물로 이동하여 소비되며, 강우발생시에는 침투와 유출, 비강우시기에는 증발산 현상까지 다양한 수문현상에 영향을 준다. 특히, 전체 면적의 64%가 산림인 우리나라의 경우 가뭄과 홍수, 증발산, 침투, 유출에 이르는 다양한 수문현상이 복합적으로 나타나는 산림에서의 수문학적 연구가 중요하며, 그 중 대표적인 토양수분에 대한 연구 역시 중요하다. 또한, 우리나라 면적의 67%에 이르는 660만ha의 산림 중 침엽수림은 273만 ha (42.4%), 침엽수와 활엽수가 혼재된 혼효림은 185만 ha (28.8%)를

* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원 · E-mail : silbern7@snu.ac.kr

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸임연구원 · E-mail : iamchoi@snu.ac.kr

*** 서울대학교 농업생명과학연구원 · E-mail : crom97@snu.ac.kr

**** 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원 · E-mail : wh531@snu.ac.kr

***** 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원 · E-mail : sgno6@snu.ac.kr

차지하고 있으며 활엽수림은 168만 ha (26.0%)을 차지하고 있어 침엽수림이 제일 넓게 분포하고 있어 (공우석, 2004), 산림 중 침엽수림에 대한 연구도 중요할 것으로 판단된다.

산림은 수자원을 함양하여 가뭄방지와 홍수방지 그리고 토양유실을 방지하는 효과가 있어 우리나라에서는 1960년 이후 조림에 힘써왔으며 정부의 강력한 산림녹화사업과 산림훼손 방지를 위해서 다각적으로 노력한 결과 우리나라의 임목밀도가 크게 증가하였으나 최근 이에 따른 부작용도 나타나고 있다. 잘 관리된 수목과 조림은 산림에 긍정적인 효과가 있으나 과도한 임목밀도는 오히려 증발산량의 증가, 옆면에 의한 강우 차단량의 증가, 낙엽 및 부식토의 증가 등으로 인하여 가뭄과 홍수 또는 산사태의 원인이 될 수 있으며 수자원함양을 저해하는 요소로 작용할 수 있다. 토양수분 모니터링 및 산림에서의 토양수분 모델링 등에 대한 연구는 해외에서는 우림이나 삼림지에서 토양수분 측정으로 증발산량, 차단량 등을 측정 산림의 수분환경, 수자원과의 연관관계 규명을 위한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 한 등 (2003)은 토양수분의 공간적인 분포를 알기위한 준비 작업으로 토양수분과 관련된 인자들에 대하여 검토하였으며, 김 등 (2004)은 산지사면에서의 토양수분 결정을 위하여 흐름분배 알고리즘을 통해 도출된 우선흐름 경로를 구성하여 토양수분 관측의 실효성을 제고하였고, 김 등 (2005)은 국내산지사면에서 토양수분의 시공간적인 분포를 파악하기 위하여 토양수분 측정법을 개발하였다. 이처럼 토양수분에 대한 많은 연구가 진행되었으나 토양수분 감쇄현상을 파악하는 연구는 국내에서 미비한 실정이다. 하지만 토양수분의 감쇄현상을 파악하면 곧 산림지역에서의 증발산량 및 토양수분 소비특성을 파악할 수 있기 때문에, 산림에서 실제 토양수분 모니터링과 이를 통한 시간별, 깊이별 토양수분 변화 및 감쇄현상을 파악하는 것은 중요하다.

따라서 본 연구에서는 침엽수 산림에서의 토층별 월별 토양수분의 감쇄특성을 분석하기 위하여 침엽수림에서 토양수분 장기 모니터링 시스템을 구축하여 시간별, 토층별 토양수분 모니터링을 실시하고, 이를 바탕으로 침엽수림에서의 토양수분 감쇄현상을 분석하였다. 또한 토양수분 데이터 및 기상자료를 활용하여 월별, 기간별 토양수분 감쇄곡선을 산정하고 감쇄상수를 비교하였으며, 감쇄특성에 대하여 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지역 선정

산림에서 토양수분 모니터링 대상지역으로 서울대학교 농업생명과학대학 태화산 학술림 (경기도 광주시)의 잣나무 조림지를 선정하였다. 태화산 학술림은 여러 가지 수종의 나무들이 잘 관리되고 있어 토양수분 측정과 기상자료 측정 등 측정 장치의 관리가 용이하여 대상지역으로 선정하였다.

2.2. 토양수분 모니터링 및 기초자료 수집

본 연구에서는 간접측정법중 하나인 FDR (Frequency Domain Reflection)을 이용하여 토양수분을 측정하였다. 본 연구에서는 토양수분을 측정하기 위하여 FDR 센서 18개(10cm, 20cm, 30cm, 60cm, 90cm, 120cm 6개씩 3개공)를 설치하여 토양층별 토양수분 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 기초자료로써 강우자료를 수집하고 토양조사를 실시하였다. 강우자료는 연구지역과 근접한 모현면에 설치된 자동기상측정장치 (AWS, Automatic Weather Station)를 이용하였으며, 토양 130cm 깊이까지 10cm간격으로 샘플링하여 분석하였다.

2.3. 산림의 토양수분 감쇄곡선 산정

본 연구에서는 감쇄곡선을 분석하기 위해서 다음과 같은 조건을 만족하는 기간의 시점과 종점을 선정하고, Holton (1933)이 제시한 식 (1)를 활용하여 토양수분 감소형태를 분석하고 기간별 감쇄상수를 비교하였다.

$$S_t = S_0 e^{-bt} \quad (4-1)$$

여기서, S_t 는 토양수분 감소 시작 후 시간 t 에서의 토양수분량, S_0 는 강수 발생 48시간 후의 토양수분량, b 는 감쇄상수, t 는 시간 (hr) 이다.

또한, 감쇄곡선 산정을 위하여 첫째, 강수 발생일 최소 2일 후, 즉, 중력수가 모두 배제한 후이며, 당일에도 강수가 없는 날 (성시홍, 1997), 둘째, 시점과 종점 간격이 최소 중력수가 배제하는 기간보다 긴 3일 이상인 기간이라는 가정 하에 감쇄곡선 산정기간을 선정하고 감쇄곡선을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기초자료 구축

2008년 4월부터 10월 까지 총 강수량은 1,187 mm이며, 태화산 산림의 토양시료 분석결과는 표 1과 같으며, 태화산 모니터링 사이트 면적은 400 m^2 이며, 평균 직경 11.53cm인 잣나무 28그루로 구성되어 있어 있다.

표 1 토양시료 분석결과

Sample	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Soil Texture
A-10	78.08	13.48	8.44	sandy loam
A-20	84.48	10.24	5.28	loamy sand
A-30	84.92	12.84	2.24	loamy sand
A-40	83.52	9.96	6.52	loamy sand
A-50	80.36	11.48	8.16	loamy sand
A-60	81.16	13.6	5.24	loamy sand
A-70	81.48	10.8	7.72	loamy sand
A-80	76.12	14.52	9.36	sandy loam
A-90	69.36	22.08	8.56	sandy loam
A-100	74.04	17.32	8.64	sandy loam
A-110	61.36	28.72	9.92	sandy loam
A-120	74.88	16.40	8.72	sandy loam
A-130	76.80	14.76	8.44	sandy loam

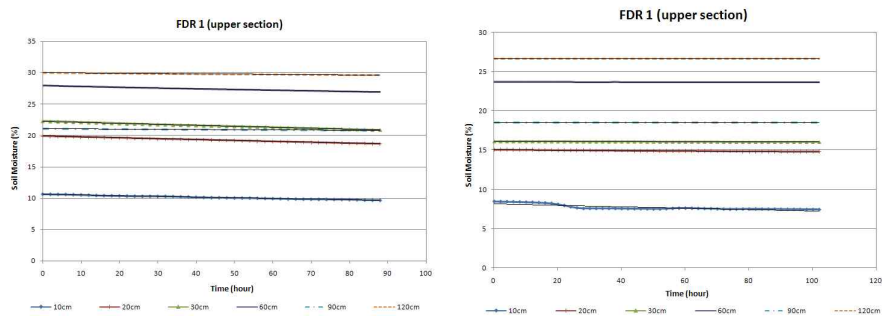
3.2. 토양수분 모니터링 결과

2008년 토양수분 모니터링 평균값을 살펴보면, zone weighting (θ_{zone})을 고려한 경우 상부지역은 20.70%, 중부지역은 22.09%, 하부지역은 19.20%로 equal weighting (θ_{equal}) 평균값보다 더 큰 값을 나타내었다. 모니터링 지점이 영향을 받을 깊이가 큰 60 ~ 120 cm 토층의 토양수분이 10 ~ 30 cm 토층의 토양수분보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 반면, 토양수분의 변화는 표층에 가

까운 상부층인 10 ~ 20 cm 토층에서 크게 나타났다. 이는 전반적으로 강수는 토층전반의 토양수분 변화량에 영향을 미치지만, 10 ~ 20 cm 토층의 경우 10 mm 이하의 적은 강수에도 큰 영향을 받으며, 겨울에서 봄으로 넘어가는 2월에서 3월 얼었던 표층의 융설 되면서 토양수분에 많은 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 상부지역, 중부지역 및 하부지역을 비교하면, 중부지역의 토양수분함양이 가장 높고 변화도 가장 크게 나타났으며, 하부지역의 토양수분 함양이 가장 낮고 상부지역은 토양수분의 변동이 가장 큰 것으로 나타났다.

3.3. 감쇄특성 분석

토양수분 모니터링 결과를 이용하여 산정된 분석기간에 대하여 그림 2와 같이 감쇄곡선을 산정하고 감쇄상수를 산정하였다.



(a) 8/5 ~ 8/8

(b) 12/13 ~ 12/17

그림 1 감쇄곡선 산정 예

11 ~ 2월에는 완만한 감쇄곡선형태가 나타났으며, 5 ~ 8월에는 감쇄곡선의 기울기가 상대적으로 가파른 것으로 나타났다. 또한, 상부지역, 중부지역 및 하부지역 모두 상부토층에서 토양수분 감쇄현상이 뚜렷하게 나타났으며 변동도 하부토층보다 큰 것으로 나타났다. 10 cm 토층에서는 하부지역의 토양수분 감쇄상수, 20 cm 토층에서는 상부지역의 감쇄상수가 가장 크고 상부지역, 중부지역 및 하부지역에 따른 토양수분 감쇄상수 차이가 크게 나타나지만, 30 cm 이하 토층의 경우 지역에 관계없이 월별 토양수분 감쇄상수의 변화 및 값이 거의 비슷한 양상을 나타냈다.

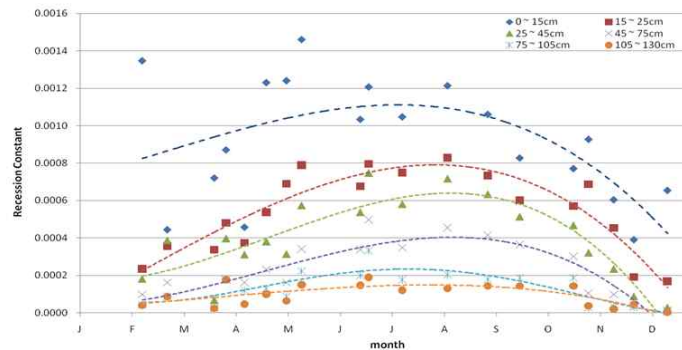


그림 2 월별 감쇄상수 패턴

4. 결론

산림이 우리나라에서 차지하는 비중이 높고 최근 삼림의 밀도가 증가함에 따라 산림과 수문현상, 강우-유출, 가뭄, 홍수의 연관성에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 산림에서의 토양수분 감쇄 특성에 대한 연구는 이러한 산림에서의 토양수분과 수문현상에 관계에 대하여 파악할 수 있다. 본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 태화산 학술림의 잣나무 조림지에서의 토양수분 모니터링을 실시하였으며, 토양수분 감쇄특성을 분석하였다. 1 ~ 2월에는 완만한 감쇄곡선형태가 나타났으며, 5 ~ 8월에는 감쇄곡선의 기울기가 상대적으로 가파른 것으로 나타났다. 감쇄곡선에서 산정된 감쇄상수를 비교해 보면, 10, 20 cm 토층에서 월별 토양수분 감쇄상수 차이가 크게 나타났지만, 30 cm 이하 토층으로 갈수록 감쇄상수 변화폭이 줄어들어, 감쇄상수는 여름으로 갈수록, 상부 토층으로 갈수록 값이 커지는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 「침엽수 산림에서의 토양수분 변화 모니터링 및 모델링」 과제 의 일환으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 공우석, 2004, 한반도에 자생하는 침엽수의 종구성과 분포, 대한지리학회지, Vol. 39 (4), pp.528-543.
2. 김상현, 김형섭, 김원, 2005, 시공간 대표성을 고려한 토양수분 모니터링 system의 구축 및 운영, 한국수자원학회논문집, Vol. 38 (1), pp. 73-82.
3. 김창용, 김상현, 정성원, 김원, 2004, 산지사면의 효과적인 토양수분 측정을 위한 흐름분배 알고리즘과 TDR을 이용한 토양수분 측정망의 구성, 한국수자원학회논문집, Vol. 37 (1), pp. 31-41.
4. 한지영, 김상현, 김남원, 2003, 토양수분 예측을 위한 수치지형 인자와 격자 크기에 대한 연구, 한국수자원학회논문집, Vol. 36 (2), pp. 251-261.