

산림 사면에서의 토양 수분 측정 시스템구축을 위한 사전연구

Preliminary Study for Soil Moisture Measurement System in the Mountainous Hillslope

진성원*, 김상현**, 권규상***, 이연길****, 정성원*****

Jin Sung Won, Kim Sang Hyun, Kwon Kyu Sang, Lee Yeon Kil, Jung Sung Won

요 지

토양수분은 지표수의 유출과정을 설명하는 과정에서 중요한 인자이며, 생태수문학의 핵심변수이자 기상모형의 결정적인 입력변수이다. 또한 토양수분의 공간적 시간적 특징들은 강우 및 지하수와 토양수분간의 순환 구조를 규명하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 산지사면의 토양수분을 체계적으로 측정하는데 필요한 시스템의 구축을 위한 기초조사 및 사전분석에 대한 연구를 수행하였다. 우수한 토양 수분 측정 장비인 TDR 장비 매설에 앞서 대상유역 선정에 대한 여러 가지 고려사항을 검토하고 수치지형 분석 등을 통한 사전분석을 실시하였다. 대상유역을 선정하기 위해서는 대상유역의 자료획득의 용이함, 지정학적, 시스템 운영적 측면에서의 가용성, 그리고 정밀측량 및 부수적요인 등 여러 요소의 고려가 요구된다. 본 연구에서는 경기도 파주시 적성면 설마리의 설마천 유역내 감악산 범륜사 우측 산지 사면을 측정대상 사면으로, 지정학적 위치, 식생분포, 지질구조 및 심도 등의 토양특성의 고려를 통해서 선정하였다. 또한 대상 사면에 흐름 발생 및 분포를 계산하기 위해서 대상사면의 지표 및 기반암 표고를 정밀 측량하였으며, 기반암 또는 풍화대까지의 깊이를 실측하여 지표면 및 지하면의 수치지형 모형을 구축하였다. 이를 대상사면 및 지하면에 대하여 표고수치지형모형(Digital Elevation Model:DEM)으로 도식한 후 흐름 발생 공간 분포를 계산하였다. 흐름발생공간 분포예측은 단방향 알고리즘, 다방향 알고리즘, 흐름 분배 알고리즘 그리고 다중무한방향 알고리즘을 사용하여 지형인자인 기여사면적과 지형습윤지수를 계산하였다. 각 분배알고리즘의 의해 도출된 지형인자들로 인한 흐름발생 공간적 분포특성을 비교하였다. 이는 합리적인 토양수분 측정시스템을 구축하는데 중요한 의사결정 수단으로 판단된다.

핵심용어 : 토양수분, TDR, 표고수치 지형모형, 흐름발생 공간분포, 지형습윤지수

1. 서론

유역의 내부 수문기작을 이해하기 위해서는 강우와 유출 등의 기본적인 수문자료에 부과적으로 강우유출 사상시 혹은 그 이후의 토양수분 시공간적인 분포에 대한 관측이 필요하다. 특히, 국내의 경우 토양수분의 관측 연구 사례가 미소하고, 유역의 특성이 외국과 상이하여서, 국내 유역 특성을 고려한 토양수분의 공간적 분포를 예측에 대한 연구가 필요하다. 국내의 경우 유역 지형이 70% 이상 산지로 이루어져 있어서 지형의 변화가 토양수분의 공간적 분포에 상당한 영향을 줄 것으로 예상된다. 습윤지수와 등고선구배를 조합한 인자를 통해 토양수분과 높은 상관관계를

* 정회원·부산대학교 수자원환경 실험실·E-mail : qwe661@pusan.ac.kr
** 정회원·부산대학교 환경공학과 교수·E-mail : kimsangh@pusan.ac.kr
*** 정회원·유량조사사업단 연구원·E-mail : geokwon@kict.re.kr
**** 정회원·유량조사사업단 단장·E-mail : sugawon@kict.re.kr
***** 정회원·유량조사사업단 단장·E-mail : swjung@kict.re.kr

이끌어 낸 연구(Burt와 Butcher, 1985)와, 추계학적 방법을 이용하여 토양수분과 지형과의 관계를 유도한 연구와 그리고 윤곽구배, 등고선구배, 접선구배, 평균구배, 상부사면 기여면적, 경사도, 습윤지수, 태양반사지수의 조합을 통하여 토양수분과 인자들과의 상관관계를 계산한 연구(이학수 외, 2001), 토양수분 측정과 모의 과정 연구(Kim 과 Lee 2004) 등의 연구들은 수치지형인자를 활용한 토양수분의 공간적인 분포 예측의 잠재성을 보여주고 있다.

본 연구에서는 산지사면의 토양수분을 체계적으로 측정하는데 필요한 시스템의 구축을 위한 기초조사, 사전 분석 및 시스템의 설치와 운영에 대한 일련의 연구를 수행하였다. 토양 수분 측정 장비인 TDR 장비 매설에 앞서 대상구역 선정에 대한 여러 가지 고려사항을 검토하고 수치지형 분석 등을 통한 사전분석을 실시하였고, 경기도 과주시 적성면 설마리의 설마천 유역내 감악산 범륜사 우측 산지 사면을 측정대상 사면으로 선정하였다.

2. 대상사면의 선정조건

대상구역의 사면을 선택하기 위해서는 여러 가지 측면을 고려해야 한다. 첫째는 수문학적 조건으로 대상 구역의 토양수분 측정망의 운영을 통한 자료의 획득이 구역의 수문학적, 토양학적, 지리학적, 지형적 관점에서 의미를 도출하는 조건이다. 이는 강우 유출시 나타나는 중간변수인 토양수분의 변동성이 강우에 대한 반응과 더불어 유출 반응의 기작을 설명해줄 수 있고, 강우의 지체 시간, 유출경로에 대한 정성적, 정량적 평가가 가능한 유역을 의미한다. 또한 인근지역에 운영되는 강우 나 유출 혹은 기상 자료 등의 수문자료를 지속적으로 확보하고 있는 유역이 측정 지점으로서 선정에 우선순위를 가지고 있다. 둘째는 지정학적인 측면이다. 대상 유역은 토양수분 관측 시스템이 구축된 후에 빈번한 관리를 필요로 하기 때문에 차량이나 대중교통으로 접근이 용이한 지역을 선정하는 것이 관리의 시간과 경비를 절감한다. 고가의 장비가 현장에 묻혀 있는 경우, 인위적인 파손으로 인한 사고를 예방할 수 있는 유일한 대책은 대상 시스템이 설치된 곳에 사람의 접근을 금지시키거나 일반인이 접근할 가능성이 거의 전무한 지점을 선택하는 것이 중요하다. 셋째는 시스템 운영의 측면이다. 토양수분 측정 시스템의 경우 운영을 위해서는 전원의 확보가 필수적이다. 필요 전원의 확보 방법에는 직접적인 교류전원의 연결이나 배터리의 충전을 통한 지속적인 전원공급 등의 선택이 가능하지만, 대상지역의 화재위험을 고려하고, 장비의 지속적인 관리가 필요한 것을 고려하면 배터리 충전방식의 운영이 추천할 만하다. 넷째는 시스템의 설치 측면이다. 토양수분 시스템의 성공적인 설치를 위해서는 대상구역의 적절한 선택이 중요하다. 센서의 적절 위치 및 깊이 매설은 흐름의 발생과 이동양상을 고려해야 하는데 이를 위해서는 대상 유역에 대한 정밀 조사가 선행되어야 한다. 선행조사로는 현장 측량을 통한 정밀 수치지형 모형의 구축, 탐침의 직접 측량을 통한 암반 혹은 풍화대까지의 깊이의 공간적인 분포도 추출, 토양시료의 분석을 통한 토양분포도 도출, 대상 유역에 존재하는 대공극 발달 양상 조사 등이 필요하다.

본 연구의 대상사면은 경기도 과주시 적성면 마지리와 설마리에 위치한 설마천 유역에 위치 해 있으며, 대상사면은 침엽수림과 활엽수림의 혼합으로 구성되어 있으며, 대상사면 전체에 걸쳐 상당한 대 공극 구조가 발달되어 있음을 육안으로 확인할 수 있다. 지질학적으로는 화강암 구조의 기반암위에 편암암 목합체로 구성되어 있으며, 절리나 파쇄대가 발달되어 있으나 그 크기는 미소하고, 이들의 연결성 또한 무시할 수 있을 정도로 작다. 대상지역의 주요 토양들은 FAO 분류기준에 따르면 Leptosols로 구성되어 있는 광물성 토양이다. 대상 사면의 토심의 깊이는 약 40-120cm의 분포를 보이며, 급격한 경사와 낮은 함수능을 보이는 특성을 가지고 있다.

3. 토양수분의 공간적 분포와 지형인자

TDR 방식의 토양수분측정체계는 다중 동측 측정방식을 지원하고 있기 때문에, 대상사면의 여러 개 지점에 대한 토양수분값을 동시에 측정할 수 있다. 이와 같은 system의 운영을 위해서는 대상사면의 공간적 변화특성을 파악하고 이를 토양수분측정시스템에 반영하여 설계하고 설치 운영하여야 한다. 이를 위해서는 토양수분의 변동성에 영향을 줄 수 있는 요소를 파악하고 이를 적절히 특성화하는 사전분석이 필요하다. 중간정도의 습윤도의 온난한 지역에서는 지형이 가장 중요한 역할을 한다고 알려져 있다(Wilson 등 2004, Anderson 과 Kneale 1980). 상이한 대륙들에 위치하고 있는 상당수 지역에서의 토양수분 관측결과도 지형의 효과가 가장 두드러진 것으로 보고하고 있고 관련 연구의 Benchmark 연구사례인 Tarawara유역의 완만한 경사 유역의 경우도 지형을 가장 중요한 요소로 보고하고 있다(Brooca 등 2007, Wilson 등 2004 2005). 따라서, 본 연구에서는 지형의 분석을 통한 토양수분 측정시스템의 설계를 수행하였으며 관련된 연구사례의 조합을 통해 토양수분 측정시스템의 사전 분석을 수행하였다.

대상 사면의 지표 및 지하 수치고도모형(Digital Elevation Model: DEM)들이 완성된 후 이를 활용한 흐름 발생 공간 분포를 계산하였다. 그림 1은 설마천 대상사면에 각종 알고리즘을 적용하여 계산된 지형 습윤지수를 보여주고 있다. 이 그림에서 진한 부분은 상대적으로 높은 지형습윤지수를 나타내고, 반대로 옅은 부분은 낮은값의 지형습윤지수를 의미한다. 그림 1(a)는 대상사면에 단방향 알고리즘을 적용한 지형습윤지수의 분포를 보여주고 있다. 수많은 연구자의 지적과 같이, 단방향 알고리즘은 흐름의 수렴은 잘 표현하지만, 사면에서의 발산을 표현하는 데는 한계를 보여주며, 특히 흐름선이 45도의 배수로 직선화하는 양상은 비현실적이라는 지적을 받고 있다. 그림 4(b)는 다방향 알고리즘으로 계산한 지형 습윤지수를 보여주고 있다. 그러나 다방향 알고리즘은 역설적으로 흐름의 수렴을 표현하지 못하여, 대상 사면에서 강우 유출시 발견되는 가변 수로의 표현에 한계를 보여주고 있다.

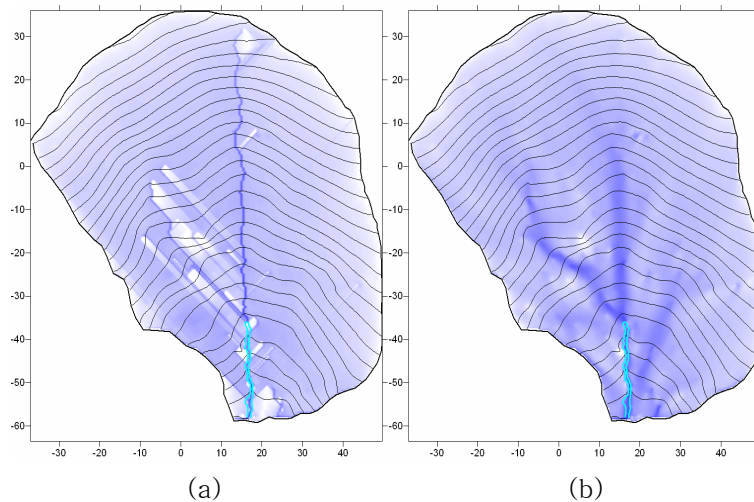


그림 1. 설마천 범륜사 우측 대상 사면의 지표 표고에 단방향 알고리즘을 적용한 지형습윤지수의 공간분포 (a); 다방향 알고리즘을 적용한 지형습윤지수의 공간분포 (b)

4. 토양수분 측정시스템의 설치

본 연구에서는 토양수분의 공간적 분포를 흐름 분배 알고리즘의 계산결과를 고려하고 사면의 Transact 선상에 위치하는 접근철학을 조합한 토양수분 측정망을 고려하였다. 이와 같은 접근은 토양수분의 지형과 사면유출의 기작을 동시에 고려하는 방법이다. 수치지형 분석결과에 근거하여, 대상 사면에 토양수분측정시스템 (TDR) System의 탐침(Waveguide)의 공간분포를 결정할 수 있다. 이를 위해서 빈도 분석을 위한 프로그램이 작성되었고, 또한 좌표치 추출과 조정을 위한 프로그램도 작성되어 활용되었다. 그림 2는 대상사면에 설치한 TDR System의 탐침 공간 분포를 보여주고 있다. 붉은 색은 실제 탐침 설치 위치를 검은색은 계산 결과에 따른 탐침 선정위치를 보여주고 있다. 계산결과와 설치위치의 미소한 차이는 현장의 사면 조건(예: 식생이나 불투수 암반의 존재)에 따른 불가피한 위치 변경이다. 전체적으로 계산상으로 선정된 위치와 실제 설치위치 사이에 차이는 미소한 것으로 판단되고, 최종 설치망의 빈도분석결과와 설계 빈도분석결과와 유사한 것으로 나타났다.

5. 결 론

토양수분 조사량 연구를 수행하는 과정에서 대상 지역의 기초조사, 대상 사면의 선정, 측량 및 토양수분 관측 시스템을 설치할 수행하였으며, 대상사면의 토양수분의 시공간적 분포양상에 대한 해석을 수행하였다. 토양 수분 관측시스템의 설치를 위하여, 수문학적인 요소, 토양학적, 지형학적, 지형적, 기상학적 요소 등을 고려하여 경기도 적성면 마지리와 설마리에 위치한 설마천 유역의 범륜사 우측 사면에, 대상 사면을 선정하였고, 대상사면의 토양수분의 공간적 분포를 파악하기 위해 정밀측량을 실시하였다. 그 결과로, 대상 사면들에 대한 지표면과 지하면의 수치지형모형을 구축하였다. 문헌에 소개된 흐름발생 알고리즘들을 적용하여 흐름 발생과 확산, 수렴에 대한 대상사면의 공간적 분포를 모의하였다. 이와 같은 결과는 대상 사면의 토양수분측정시스템의 TDR sensor의 위치를 선정하는데 중요한 역할을 한다.

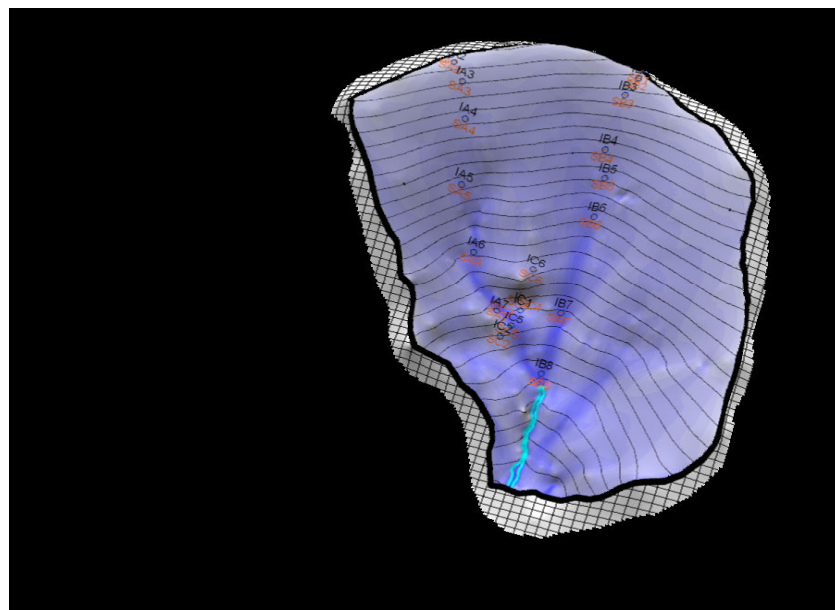


그림 2. 대상사면의 탐침망 설계 및 설치 위치의 공간분포

참 고 문 헌

1. 이학수, 김경현, 한지영, 김상현(2001). 수치 지형인자를 활용한 토양수분분포 예측, 한국수자원 학회논문집, 제34권, 제4호, pp. 391-401.
2. Anderson MG, Kneale PE(1980). Topography and hillslope soil water relationships in a catchment at low relief. *Journal of Hydrology*. 47: 115-128.
3. Brocca, L., Morbidelli, R., Melone, F., Moramarco, T(2007). Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy, *J. of Hydrol.*, 333(2-4), 356-373.
4. Burt and Butcher(1985). Topographic controls of soil moisture distributions, *Journal of Soil Science*, 36, 469-486.
5. Kim, S., Lee, H(2004). A digital elevation analysis: A spatially distributed flow apportioning algorithm, *Hydrol. Processes*, 18, 1777-1794.
6. Wilson DJ, Western AW, Grayson RB(2004). Identifying and quantifying sources of variability in temporal and spatial soil moisture observations. *Water Resources Research* 40: Art. No. W02507.
7. Wilson DJ, Western AW, Grayson RB(2005). A terrain and data-based method for generating the spatial distribution of soil moisture. *Advances in Water Resources* 28: 43-54.