

# 전이함수를 적용한 토양 수분 시계열 자료의 분석

## Modeling of Soil Moisture Time Series using Single Input Single Output Transfer Function

최경문\*, 선한나\*\*, 김상현\*\*\*, 정성원\*\*\*\*

Kyungmoon Choi, Han Na Sun, Sanghyun Kim, Sungwon Jung

### 요 지

본 연구에서는 경기도 설마천 지역에 위치한 독립사면에서 토양수분을 연속측정한 결과를 분석하였다. 관측망의 설계를 통하여 선정된 위치에 탐침을 매설하고 공간적인 분포를 가진 시계열 형태의 데이터를 10cm 깊이에서 수집하였다. 전이함수 모형을 사면에서의 토양수분 전이과정에 대응하고, 이를 실제 측정된 데이터에 의해서 분석한 결과와 비교해 보았다. 전이함수 모형은 강우 데이터를 입력변수로 하고 토양수분 시계열 데이터를 반응 변수로 하여 전개하였고, 시계열 모형의 전개는 크게 자료전처리, 모형구조의 규명, 모수추정, 모형진단 등의 과정을 통해서 적합한 모형을 도출하였다. 산지 사면에서의 토양수분을 전이함수에 의하여 전개한 모형은 토양수분의 깊이별 변화와 지형적 분포 양상에 따라 특색을 나타내었다. 또한 2003년 가을과 2004년 봄의 전이함수 모형 추정을 통하여 계절별 특성이 나타남을 알 수 있는데, 봄의 토양수분의 분포는 가을의 토양수분에 비하여 큰 변동성과 고차항의 반응양상을 보인다. 본 연구는 전이함수를 이용한 토양수분의 시계열 분석이 사면에서의 토양수분 변동특성을 지형적, 계절적 특성과 연계하여 이해하고 특성화하는 과정의 적절한 도구가 될 수 있음을 보여주고 있다.

**핵심용어** : 전이함수(Transfer function), 토양 수분, 전이함수, 시계열분석

### 1. 서 론

수자원 부족문제를 해결하기 위해서는 지표수의 부존량과 성상을 파악해야한다. 산지사면의 토양수분에 관한 연구는 물 순환과정의 특성을 정성적, 정량적으로 이해하는데 필수적인 과정이다. 수문학적인 측면에서의 토양수분의 측정은 유역에서의 물의 이동 양상을 시공간적으로 특성화하여 규명 할 수 있다는 것이다. 그러나 그 중요성에 비해 토양 수분의 시공간적 해석에 대한 연구가 국내에서는 활발히 일어나지 않고 있으며, 그 기작 또한 매우 복잡하며, 예측 또한 난해하다. 그러므로 효율적인 지표수와 지하수원의 관리를 위해 토양수분의 불확실성과 변동성을 인지할 수 있는 모델링 기술이 요구된다. 이에 따라 경기도 파주시 설마리의 설마천 유역내에 감악산 범륜사 우측 산지 사면 유역에서 TDR(Time Domain Reflectometry)를 이용하여 토양수분을 측정 시스템을 구축하고 시스템을 통하여 얻어진 토양수분을 시계열 모형을 통하여 분석하였다. 시계열 분석 방법의 하나인 전이함수 모형은 서로 상관관계를 가지는 변수의 관계를 결정함으로써 추계학적 모형을 도출하고, 입력변수와 출력변수의 관계를 설명할 수 있다. 본 연구에서는 강우를 입력변수

\* 정회원.부산대학교 수자원환경실�험실E-mail:moony0620@pusan.ac.kr

\*\* 정회원.부산대학교 수자원환경실�험실E-mail:gkssk474@hotmail.com

\*\*\* 정회원.부산대학교 환경공학과 부교수E-mail:kimsangh@pusan.ac.kr

\*\*\*\* 정회원.유량조사사업단 단장E-mail:swjung@kict.re.kr

로 지표면 토양수분을 출력변수로 한 전이함수를 전개하였다.

## 2. 이론 및 전개 과정

### 2.1 데이터 획득 및 이론

연구의 대상유역으로 설마천 유역내에 위치한 감악산 범륜사 우측 소규모 산지 사면을 선정하였다. 연구유역은 면적  $8.50 \text{ km}^2$ , 유로연장  $5.80 \text{ km}$ , 유로경사  $2.3 \%$ 로 전형적인 급경사 산지 사행하천이다. (이혜선, 2006)

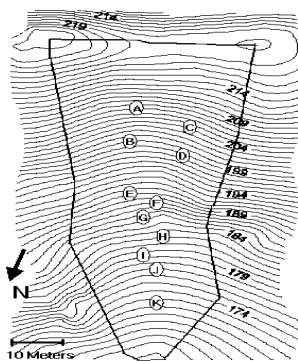


Table 1. Estimated wetness index at soil moisture surface topography

point	X(m)	Y(m)	Z(m)	surface		subsurface	
				SFD	MFD	SFD	MFD
A	196.55	220.09	214.38	5.08	3.53	3.62	3.67
D	204.03	197.36	199.38	3.04	4.52	3.2	4.82
H	199.5	180.49	187.89	5.66	5.74	4.65	5.82

Fig.1 Tophographic Indices of easurement points.

Fig.1과 같이 지점을 선정하여 A,D,H 지점의 지표면으로부터 10cm깊이의 토양수분값과 강우를 1시간 간격으로 측정하였다. 상부면에 위치한 A지점과 D지점 및 하부면의 H지점의 2003년 가을과 2004년 봄의 토양수분 변화량을 살펴보면 다음과 같다.

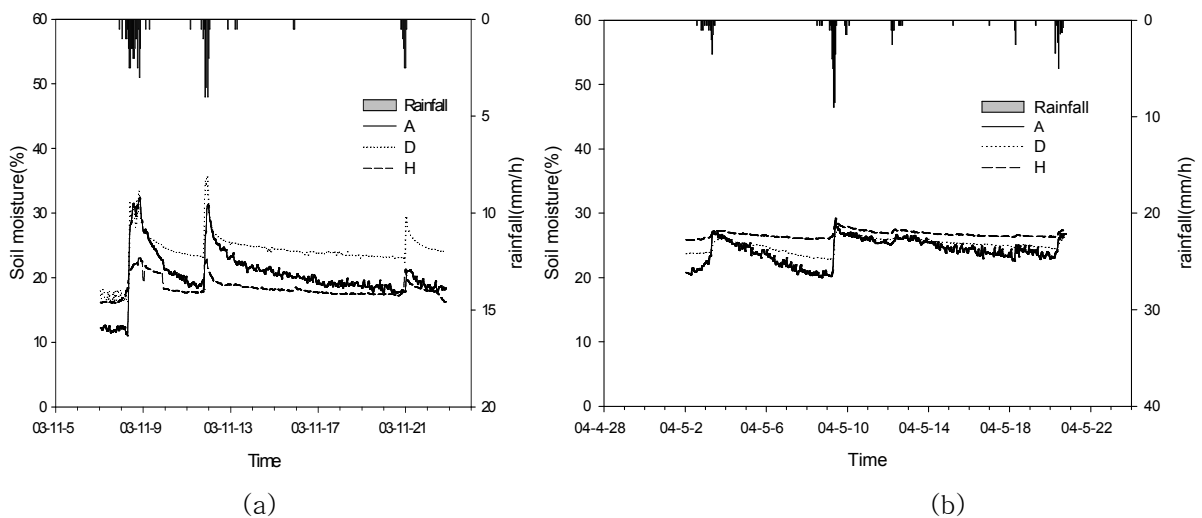


Table 2. Rainfall and measured soil moisture of piont A,D,H at September 2003 (a) and May 2004 (b)

일반적인 선형 전이 함수를 나타내면 식 (1) (2)와 같다.(Box and Jenkins, 1976)

$$(1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) y(t) = (w_0 - w_1 B - w_2 B^2 - \dots - w_s B^s) x(t) \quad (1)$$

$$\delta(B) y(t) = w(B) x(t) \quad (2)$$

입력변수  $x(t)$ 를 강우  $I(t)$ , 출력변수  $y(t)$ 를 토양 수분  $S(t)$ 로 하여 선형 전이함수를 나타내면 결과적으로 식 (3)과 같다.

$$S_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} I_t + \frac{\Psi(B)}{\Phi(B)} a_t \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \omega(B) &= (\omega_0 + \omega_1 B + \dots + \omega_{h-1} B^{h-1}) B^b & \delta(B) &= 1 - \delta_1 B - \dots - \delta_r B^r \\ \phi(B) &= 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p & \theta(B) &= 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q \end{aligned}$$

## 2.2 시계열 모형 전개 과정

강우 데이터를 입력변수로 하고 토양수분 시계열 데이터를 반응 변수로 하여 전개하였고, 단일 입출력 변수를 통해 전개한 전이 함수 시계열 모형의 전개는 크게 자료전처리, 모형구조의 규명, 모수추정, 모형진단 등의 과정을 통해서 적절한 모형을 도출하였다.

### 2.2.1 자료의 전처리

본 연구에서는 Box-Cox 변환식 (Box and Cox, 1964)을 이용하여 자료의 정규성을 하였고, 비정상성의 특성들은 차분을 통해서 개선 되었다. 본 연구에서는 입력변수인 강우자료는 1번 1차 차분된 형태로 사용되었다.(Lemke, 1991)

### 2.2.2 모형구조의 규명

입력 변수인 강우의 자기상관함수와 편자기상관함수를 통하여 회귀이동평균(ARMA)모형을 설정하여 잡음항( $N_t$ )을 설정하였다. 전이 함수 모형전개의 다항식 추정에서는 corner table을 통하여  $w(B)/\delta(B)$ 의 차수를 추정하고 그 다음으로 추정된 모형이 모형의 결점을 찾아낸후, 모든 모형의 가정이 적당한지를 점검한다(Lui, 2006). Box and Jenkins (1976)는 다른 모형 파라미터들의 추정에 별다른 변화를 가져오지 못하는 0에 가까운 값을 가지는 파라미터들은 제거되어야 한다고 주장하며 파라미터 수가 작은 모형의 필요성을 강조했다.  $-1.96 < t < 1.96$ 의 범위내의 t값을 가지는 t-test의 귀무가설이 거부되지 않는 0.05수준(5%)에서의 파라미터들은 통계적으로 유의하지 않으므로 모형에서 제거된다.

### 2.2.3 모수추정

강우를 입력변수로 토양수분을 출력 변수로 한 전이함수는 Table 2 와 3과 같이 전개되었다.

point	Transfer Function Model	R <sup>2</sup>
A	$Y_t = \frac{(0.05B^2+0.08B^3+0.1B^4+0.05B^5)}{1-0.995B}X_t + \frac{1}{1-1.13B+0.18B^2}a_t$	0.96
D	$Y_t = \frac{(0.07B+0.07B^2+0.1B^3+0.14B^4)}{1-1.001B}X_t + \frac{1}{1-0.9B}a_t$	0.90
H	$Y_t = \frac{(0.07B+0.09B^2+0.1B^3+0.05B^4)}{1-0.99B}X_t + \frac{1}{1-1.07B+0.13}a_t$	0.95

Table 2. Transfer function model at point A, D, H at September 2003

point	Transfer Function Model	R <sup>2</sup>
A	$Y_t = \frac{(0.05B+0.04B^2+0.05B^3+0.08B^4+0.05B^5+0.05B^6)}{1-0.994B}X_t + \frac{1}{1-0.66B-0.28B^2}a_t$	0.92
D	$Y_t = \frac{(0.01B+0.03B^2+0.03B^3+0.04B^4+0.06B^5+0.07B^6+0.04B^7+0.03B^8+0.02B^9)}{1-1.012B}X_t + \frac{1}{1-1.36B+0.37B^2}a_t$	0.99
H	$Y_t = \frac{(0.05+0.09B+0.08B^2+0.08B^3+0.09B^4+0.07B^5+0.07B^6+0.05B^7+0.03B^8)}{1-0.998B}X_t + \frac{1}{1-0.977B}a_t$	0.97

Table 3. Transfer function model at point A, D, H at May 2004

Table 2와 Table 3.에서 보여지는 것과 같이 봄의 토양수분을 통해 전개한 전이함수인 가을에 측정된 토양수분을 통해 전이함수에 비해 다항식의 차수가 높게 나타난다. 이는 봄의 토양수분값은 가을의 토양수분값에 비해 강우에 대한 영향이 오랫동안 지속된다는 것을 의미한다. 또한 전개된 모형에서 고도의 차이를 보이는 3개의 지점에서 같은 차수의 다항식이 나타난다. 이는 고도의 차이는 지표면에서 10cm 깊이의 토양수분값 변화량에 미비한 영향을 미친다는 것을 나타내며, 강우에 의한 토양수분의 충전이 상부사면으로부터의 충전효과에 비해 크다는 것을 나타낸다.

### 2.2.4 모형 진단

전개된 전이함수 모형이 타당한지 검증하기 위해 모형진단을 한다. 모형검진단계에서 기본적으로 사용되는 도구는 잔차 자기 상관함수이다. 추정된 모형이 적절하다면, 백색잡음들은 서로 독립이어야 한다.

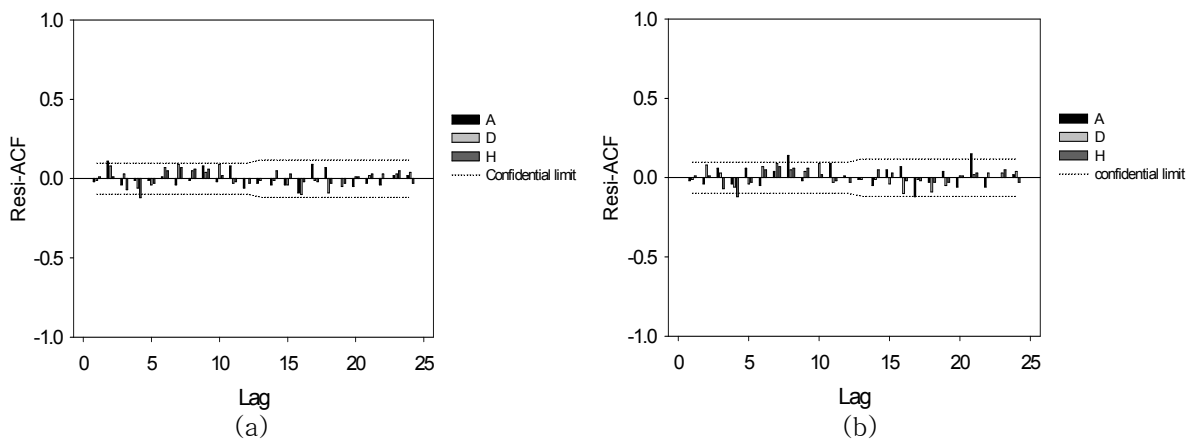


Fig.3 The AutoCorrelation Function of the residuals of point A,D,H at November 2003(a) and May 2004(b)

추정된 모형이 적절하다면, 백색잡음들은 서로 독립이어야 한다. 이상적인 잔차의 자기상관계수는 “0”이 되어야 하지만, 현실적으로 불가능하다. 따라서 신뢰구간 보다 작은 값을 가지면 백색잡음 이라 판단하고 잔차의 독립성이 확인된다 할 수 있다. Fig. 3에서 보여주는 것과 같이 거의 모든 지점에서 잔차가 독립적임을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

강우를 입력변수로, 지표면에서 10cm 깊이의 토양수분값을 출력변수로 전개한 전이함수 모형은 지점의 고도에 따라 큰 차이점을 나타내지 않는다. 즉, 지점의 고도가 높은 곳이나 유출부에 가까운 낮은 지점의 지표면에서 토양수분은 강우에 대한 반응성이 거의 같다. 이는 지표면에서의 토양수분은 상부 사면으로부터의 지속적인 유입으로 인한 충전 효과 보다는 강우에 의한 충전 효과가 대부분을 이룬다는 것을 보여준다. 또한, 전개된 모든 지점에서 전이 함수는 가을에 비해 봄에 고차항 다항식을 나타낸다. 이는 토양수분 값이 강우 사상의 영향을 오래 지속적으로 나타낸다는 것을 의미한다. 이는 식생의 영향이 토양수분에 영향을 미친다는 점을 시사하며 전이함수를 이용한 토양수분의 시계열 분석이 과정의 적절한 도구가 될 수 있음을 보여주고 있다.

### 감 사 의 글

본연구는 유량조사단의 토양수분량 조사연구의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., (1976): Time series analysis Forecasting and control, revised ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Box, G. E. P., and D.R. Cox, (1964): An analysis of transformations, J. R. Stat. Soc., Ser. B, 26, 211-243.
- Karen A. Lemke (1991): Transfer Function Models of Suspended Sediment Concentration Water Resources Research 27(3). 293-305.
- Lon-Mu Lui (2006): Time Series Analysis and Forecasting Second Edition. Scientific computing associates.
- 이혜선 (2006) 토양수분 전이과정의 물리적 전개와 시계열 분석을 통한 추계학적 모형구조의 도출. 부산대학교 대학원