

# 수문기상자료를 이용한 설마천의 토양수분 예측

## Prediction of Soil Moisture using Hydrometeorological Data in Selmacheon

주제영\* · 최민하\*\* · 정성원\*\*\* · 이승오\*\*\*\*

Joo, Je Young · Choi, Minha · Jung, Sung Won · Lee, Seung Oh

### Abstract

Soil moisture has been recognized as the essential parameter when understanding the complicated relationship between land surface and atmosphere in water and energy recycling system. It has been generally known that it is related with the temperature, wind, evaporation dependent on soil properties, transpiration due to vegetations and other constituents. There is, however, little research concerned about the relationship between soil moisture and these constitutes, thus it is needed to investigate it in detail. We estimated the soil moisture and then compared with field data using the hydrometeorological data such as atmospheric temperature, specific humidity, and wind obtained from the Flux tower in Selmacheon, Korea. In the winter season, subterranean temperature showed highly positive correlation with soil moisture while it was negatively correlated from the spring to the fall. Estimation of seasonal soil moisture was compared with field measurements with the correlation of determination,  $R=0.82, 0.81, 0.82,$  and  $0.96$  for spring, summer, fall, and winter, respectively. Comprehensive relationship from this study can supply useful information about the downscaling of soil moisture with relatively large spatial resolutions, and will help to deepen the understanding of the water and energy recycling on the earth's surface.

**Keywords :** soil moisture, soil temperature, atmospheric temperature, specific humidity, wind

### 요 지

토양수분은 물·에너지 순환에서 지표면과 대기 사이의 복잡한 관계를 이해하기 위한 중요한 수문인자 중 하나이다. 일반적으로, 토양수분은 온도, 바람, 토성에 의한 증발과 식생에 의한 증산에 의하여 결정이 되는 것으로 알려져 있다. 하지만, 각 인자와 토양수분과의 관계에 대한 심도 있는 연구는 아직 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Flux tower(설마천 타워)에서 생성되는 측정인자인 대기온도, 비습, 풍속을 고려하여 토양수분 예측치를 산정하였으며 이를 실측치와 비교하고 상관분석을 실시하였다. 토양수분은 특히 겨울에는 지중온도와 매우 강한 양의 상관계수를 가졌으나 이외의 항인 대기온도, 비습, 풍속과는 상관성이 낮게 산정되었다. 봄부터 가을까지의 자료에서는 지중온도가 토양수분과 매우 강한 음의 상관계수를 가지며 대기온도와 비습의 경우 상당한 음의 상관계수를 가지며 풍속은 식생의 영향으로 상관성이 매우 낮은 것으로 판단되었다. 중회귀분석을 통하여 계절별 토양수분을 추정하여 이를 측정값과 비교하였으며 결정계수( $R^2$ )는 봄의 경우 0.82, 여름의 경우 0.81, 가을의 경우 0.82, 겨울의 경우 0.96로 대체로 양호한 결과를 나타내었다. 본 연구에서 토양수분에 대한 지표상의 수문기상인자들과의 밀접한 상관관계는 공간해상도가 비교적 큰 원격탐사 토양수분의 downscaling에 유용한 정보를 제공할 수 있으며, 지표상의 물·에너지 순환에 대한 보다 나은 이해를 줄 것으로 사료된다.

**핵심용어 :** 토양수분, 지중온도, 대기온도, 비습, 풍속, 원격탐사

### 1. 서 론

토양수분은 수문 현상을 이해함에 있어서 주요변수이다. 예를 들면, 유출 특성에 있어서 직접적인 영향을 미치며 에너지 순환과 물 순환의 연결고리 역할을 한다. 즉, 정량적 수문해석을 위해서는 토양수분의 정량적 해석과 동시에 대기인자와의 연계성에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 이와 같은 노력의 일환으로 토양수분의 시공간적 변이성에 대한 연

구가 진행되어 왔으며 토양수분을 이용하여 대기-지표 상호작용에 대한 연구가 진행되고 있다(Bosch 등, 2006; Choi 등, 2008). 토양수분 토양수분에 영향을 미치는 기상조건은 순 강수량, 순 복사량, 증발산량, 풍속, 온도 등이 있다(Barling 등, 1994). 임경택 등(2002)은 지표면의 에너지 평형관점에서 본다면 지구표면에 도달하는 순 복사량은 지표면의 지열, 현열, 잠열의 합으로 이는 각기 지중온도, 대기 온도, 습도, 풍속의 함수이며 토양수분과 밀접한 관계가 있

\*비회원 · 홍익대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : subject0@nate.com)

\*\*정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : mchoi@hanyang.ac.kr)

\*\*\*유량조사사업단 단장 · 공학박사 (E-mail : swjung@kict.re.kr)

\*\*\*\*정회원 · 교신저자 · 홍익대학교 건설도시공학부 조교수 · 공학박사 (E-mail : seungoh.lee@hongik.ac.kr)

음을 나타냈다. 토양수분의 변동에 있어서 영향을 줄 수 있는 Flux tower의 위 인지들에 대한 연구성과는 다음과 같다. 첫째, 기상인자 중 토양수분의 감쇄영향을 크게 주는 인자는 온도이며 상대적으로 습윤한 토양에서는 열관성에 의하여 지중 온도 경사선이 쉽게 영향을 받지 않는다(Idso 등, 1975). 즉, 포화된 토양일수록 지중온도의 변화가 완만하다. Lakshmi 등 (2003)에서는 다양한 식생환경과 관계없이 지중온도는 토양수분과 역의 관계를 가지고 있음을 증명하였다. 또한, 화귀식을 도출하여 이를 감쇄기간 이후의 토양수분을 예측하였다. Myers 등(2009)에서는 Regression tree algorithm를 이용하여 지중온도와 토양수분의 예측을 데이터마이닝 접근법으로 도출하였으며 LSM(Land Surface Model)과 같은 수문모델의 토양의 세부 깊이별 예측을 보완하고자 하였다. 둘째, 대기온도로 대표되는 현열은 지중온도와 대기온도의 차와 비례하며 대기온도가 지중온도보다 높을 경우 대기에서 지표방향의 현열 흐름이 발생하며 현열은 공기와 수표면 사이의 열의 이전 또는 증발을 유도한다고 보고된 바가 있다(Dingman, 1994). 셋째, 증발과정에서 바람은 열과 수증기를 물의 표면으로부터, 또는 물의 표면으로 가지고 온다는 것을 알았다(임경택 등, 2002). 또한, 지표면에 바람이 지나갈 때 지표에서 마찰항력과 난류를 생성시키며 현열과 잠열의 상승을 유도함을 논의한 바 있다(Dingman, 1994). 넷째, Lee와 Pielke(1991)에서 증발율은 지표와 대기의 비습차와 비례하는 것으로 지표의 비습이 증발율의 상승에 기여하는 인자임을 언급하였으며 이를 이용한 증발율식을 제시하였다. 또한, 비습은 잠열과 관련된 기상 인자이며 일반적으로 잠열이 증발에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 강우 후의 토양수분의 감쇄 경향을 (1) 지중온도, 대기온도, 비습, 풍속별로 물리적인 상관관계를 분석하였으며, (2) 각 인지들을 이용한 다중회귀식을 도출하여 토양수분을 예측·검증하였다.

## 2. 연구 자료 및 연구 지역

### 2.1 Flux tower

지난 몇 해 동안, 400여 곳이 넘는 세계적인 FLUXNET은 지표면과 대기 사이의 이산화탄소, 수증기, 에너지 유동

의 교환에 관하여 미국과 유럽, 중국, 일본, 한국 등지에서 에디 공분산 시스템을 기반으로 운영되어지고 있다. 이러한 Flux network는 지표면과 대기사이의 생태계 해석, 물, 에너지 유동에 관한 지속적인 측정값을 제공한다(<http://daac.ornl.gov/FLUXNET/>).

국내에서는 유량조사사업단에서 증발산의 정량적 측정을 위하여 Flux tower를 설치하였으며 30분마다 수문인자의 지속적인 측정을 수행하고 있다. 물 순환 연구의 실제적인 규명을 위해 강수량, 지표유출량, 지하수 함양량, 증발산, 토양수분 함량 등을 관측하고 있다.

### 2.2 연구지역

연구대상 Flux tower(설마천 타워)가 설치되어 있는 곳은 경기도 파주시 적성면 설마리의 설마천 유역이며 유역면적 8.5 km<sup>2</sup>, 유로연장 5.80 km, 연평균 강수량은 1600 mm, 유로경사 2%인 전형적인 급경사 산지 사행하천 지형이다. 90% 이상이 주로 20~30년 수령의 침엽수와 활엽수로 구성되며 토양은 Loamy sand에서 Loam으로 분포하며 표토는 얇은 편으로 함양능력이 대단히 낮다(한국건설기술연구원, 2004). 토지 피복은 플렉스 타워를 기준으로 침엽수와 활엽수로 이루어진 혼효림 지역으로 구성된다. 에너지 유동과 수문기상학적 변수들은 19.2 m 높이에 설치된 플렉스 타워에서 측정된다. 에디 공분산 시스템은 순복사계, 초음파 풍속계, 습도계, 온도계로 측정된다. 유동적인 모든 수문기상학 측정값들은 CR800과 CR3000에 의해서 기록되어진다(진지웅 등, 2009). 유량조사 사업단의 설마천 유역의 우량, 수위, 유량, 증발산 측정을 통한 기초수문자료 구축사업으로 2007년 8월부터 에디공분산 기술을 사용하여 혼효림에서의 기상인자를 계속하고 있다(권효정 등, 2008).

## 3. 이 론

### 3.1 상관분석

상관계수는 두 변수 사이의 일차적인 관계가 얼마나 강한가를 측정해 주는 지수이며 이것은 두 변수 사이의 일차 관계적인 방향과 관련 정도를 나타낸다. 본 연구에서 사용된

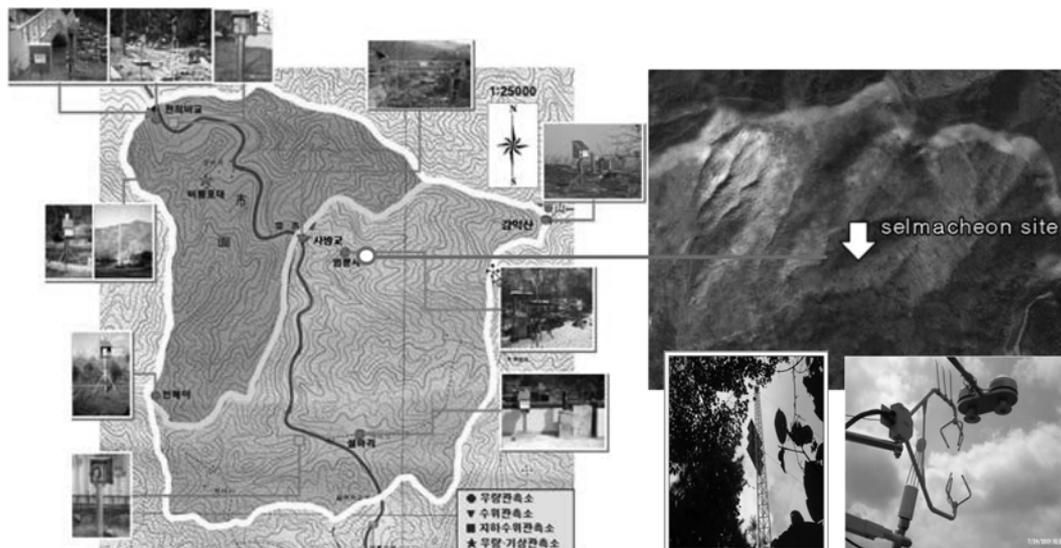


그림 1. 설마천 타워와 우량, 수위, 지하수위 관측소 위치

상관분석 방법은 Pearson's  $r$ , Kendall's  $\tau$ , Spearman's  $\rho$ 를 사용하였다. 피어슨 상관계수(Pearson's  $r$ )는 두 변수 간 선형 결합의 측도이며 상관계수 값의 범위는 -1부터 1까지이다. 계수의 부호는 관계의 방향을 가리키고 절대값은 정도를 나타내는데 절대값이 클수록 강한 관계가 있음을 나타낸다. 칸달 상관계수(Kendall's  $\tau$ )는 두 변수 간 비선형 결합의 측도이며 동률을 고려하는 보통 변수나 순위 변수에 대한 상관계수의 비모수 측도이다. 계수의 부호는 관계의 방향을 나타내고 절대값은 강도를 나타내는데 절대값이 클수록 강한 관계가 있음을 의미한다. 가능한 값 범위는 -1부터 +1까지이지만 -1이나 +1값은 정방향의 표에서만 볼 수 있다. 스피어맨 상관계수(Spearman's  $\rho$ )는 피어슨 상관계수(Pearson's  $r$ ) 상관계수의 비모수 형태로써 실제 값보다 데이터 서열척도를 기초로 한다. 순서 데이터나 정규성 가설이 맞지 않는 구간 데이터에 적합하며 계수 값의 범위는 -1부터 +1까지이다. 계수 부호는 관계의 방향을 나타내고 절대값은 강도를 나타내므로 절대값이 클수록 관계가 강함을 나타낸다(강병수와 김계수, 2009).

### 3.2 회귀분석

회귀분석은 단순회귀분석(Simple Regression Analysis)과 중회귀분석(Multiple Regression Analysis)으로 나뉘며 단순회귀분석은 독립변수와 종속변수의 수가 각각 하나씩인 경우에 이루어지는 해석을 뜻하며 중회귀분석은 종속변수가 하나이고 독립변수가 여러 개인 경우의 분석을 의미한다. 일반적인 중회귀식은 다음과 같이 표현된다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

$g$ 는 종속변수이며,  $\beta_k$ 는 회귀상수,  $x_k$ 는 독립변수,  $\varepsilon$ 는 noise이다.

중회귀분석에서 고려하여야 할 점은 세가지로 1) 독립변수 간의 상관관계, 즉 다중공선성이다. 2) 어떤 잔차항이 다른 잔차항에 영향을 미치게 되는 경우 오차항의 자기상관 또는 계절 상관이다. 3) 종속변수가 독립변수의 변화에 따라 다른 분산을 보이는 이분산성 등이 있다(강병수와 김계수, 2009).

## 4. 자료 분석 및 중회귀식 도출

### 4.1 상관분석

본 연구에서는 계절별 강우 후의 토양수분 감쇄 양상을 파악하기 위하여 관측기간 동안 각 계절별 대표성을 띠는 기간을 추출하여 각 인자별 상관성을 분석하였다. 각 계절별로 강우 후의 토양수분 감쇄기간을 연구기간으로 설정하였으며 설마천 유역의 2008년 자료를 사용하였다. 각 계절별 조사기간은 다음과 같다. 1) 봄: 4월 10일~4월 22일, 2) 여름: 6월 4일~6월 15일, 3) 가을: 9월 26일~10월 5일, 4) 겨울: 1월 12일~1월 20일이며 강우 후의 감쇄기간이다.

그림 2에서 토양수분은 봄과 가을에 각기 다른 특성을 가진다. 가을을 시작으로 토양수분은 증가를 하며 충전되는 특성을 보인다. 반면 봄을 시작으로 토양수분은 감소를 하며 배수되는 특성을 보인다. 즉, 토양수분은 계절에 따른 양상을 나타낸다. 또한, 토양의 열적인 특성은 열전도율, 체적

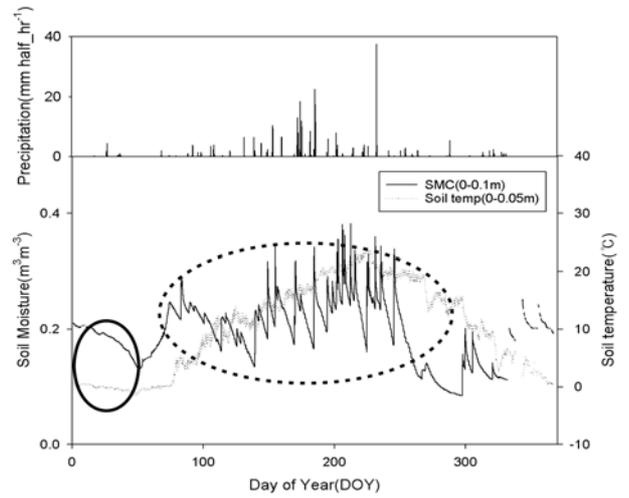


그림 2. 시계열에 따른 토양수분과 지중온도와의 관계

열용량 및 열확산율에 의해 표시되며 함수량이 많을수록 열전도율과 열용량이 커진다. Idso 등(1975)에서 이를 제시하였으며 습윤한 토양에서는 지중온도의 변동이 작아짐을 확인할 수 있었다. 실선으로 표시된 봄에서 가을까지의 경우 토양수분은 지중온도와 반비례 관계를 갖는다. 이는 기존 연구에 의하여 확인이 되었다(Lakshmi 등, 2003). 그러나 그림 2에서 실선으로 표시된 겨울 기간 동안 토양수분과 비례의 관계를 가지는 것으로 판단이 되며 이는 지표에 녹지 않은 눈의 영향으로 간주된다. 또한, 지중온도가 영하에 위치하기에 토양수분의 전이가 용이하지 않은 결과로 사료된다.

표 1에서 토양수분은 겨울의 경우 선형과 비선형 모두 지중온도와 강한 양의 상관계수를 가졌으며 이외의 항인 대기 온도, 비습, 풍속은 관련성이 매우 낮았다. 봄부터 가을까지는 선형과 비선형 모두 지중온도와 강한 음의 상관계수를 가지며 대기온도와 비습은 상당한 음의 상관계수를 가진다. 모의 인자 중 풍속은 혼효림 지대인 설마천 유역에서 식생에 의한 바람의 차단으로 인하여 풍속과의 관련성은 전체적

표 1. 분석기간별 인자와 토양수분간의 상관계수

분석기간	인자	Pearson's $r$	Spearman's $\rho$	Kendall's $\tau$
봄 (4.23-5.4)	지중온도	-0.89	-0.58	-0.81
	대기온도	-0.81	-0.45	-0.95
	비습	-0.80	-0.42	-0.78
	풍속	0.24	0.32	0.22
여름 (6.4-6.15)	지중온도	-0.90	-0.90	-0.91
	대기온도	-0.63	-0.68	-0.69
	비습	-0.56	-0.58	-0.58
	풍속	-0.23	-0.21	-0.21
가을 (9.26-10.5)	지중온도	-0.76	-0.73	-0.78
	대기온도	-0.69	-0.64	-0.68
	비습	-0.76	-0.80	-0.85
	풍속	0.26	0.21	0.19
겨울 (1.12-1.20)	지중온도	0.95	0.92	0.93
	대기온도	0.09	0.03	0.05
	비습	0.20	0.10	0.12
	풍속	0.19	0.18	0.20

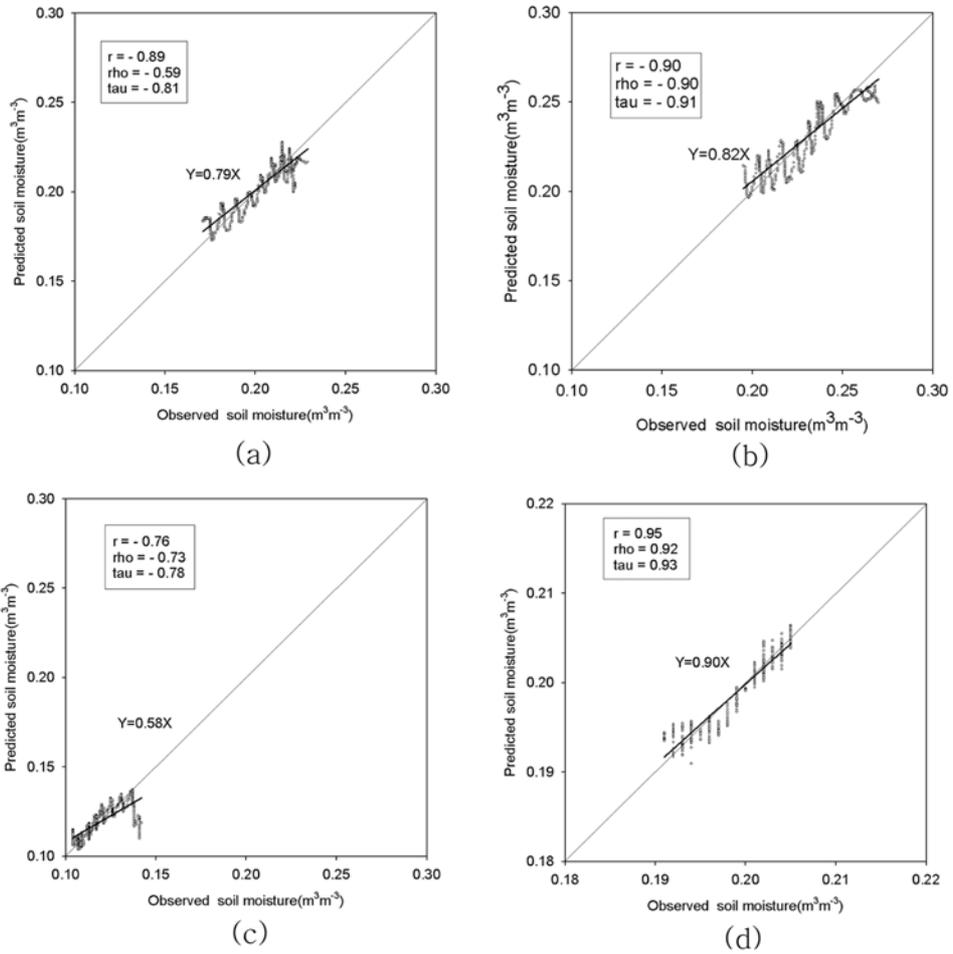


그림 3. 지중온도를 이용한 토양수분 추정값과 측정값의 상관관계 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

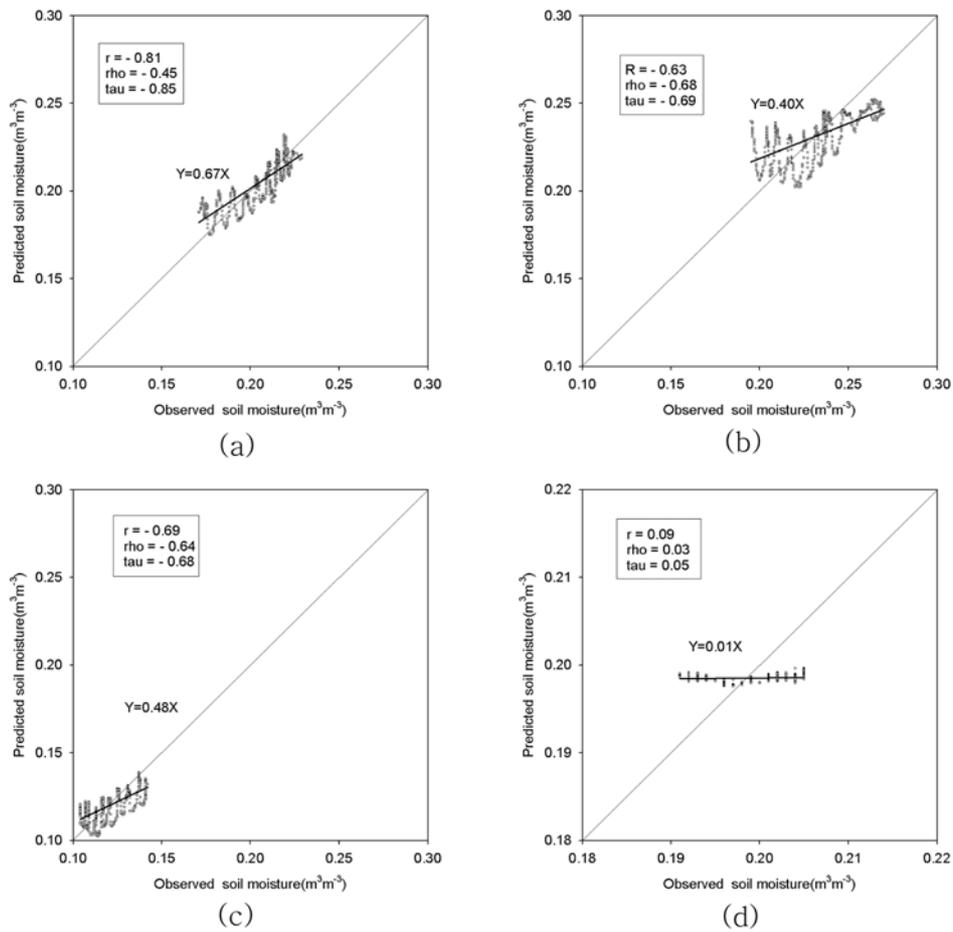


그림 4. 대기온도를 이용한 토양수분 추정값과 측정값의 상관관계 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

으로 없다. 각 인자별로 선형회귀분석을 통하여 토양수분을 예측하여 측정된 값과 비교하였다.

그림 3은 계절별 지중온도의 변화에 따른 토양수분의 추정값과 측정값의 상관관계를 도식화한 것으로 비교적 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 지중온도의 상관관계는 강수후의 지중온도가 겨울철을 제외하고 모두 상승하는 반면, 토양수분은 감소하기 때문에 음의 상관관계를 갖는다고 볼 수 있다. 하지만 겨울철의 경우 변동값(지중온도 0.663 → -0.256, 토양수분 0.205 → 0.191)이 다른 계절에 비해 매우 적은 편이고 계절의 특성상 지중온도가 영하로 내려가면서 수분이 동결되는 현상으로 인하여 토양수분이 줄어드는 양의 관계가 가능한 것으로 분석된다. 다른 인자들보다 상관관계가 높게 나타나는 것을 고려할 때 본 연구에서 고려된 인자들 중 지중온도와 토양수분이 가장 밀접한 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

그림 4는 계절별 대기온도의 변화에 따른 토양수분의 추정값과 측정값의 상관관계를 도식화한 것으로 겨울을 제외한 나머지 계절은 약 0.63~0.81의 양호한 음의 상관계수를 나타내었다. 하지만 겨울의 경우 0.09의 낮은 상관계수를 나타내는데 그 원인은 지상에 강설이 덮여있거나 지층이 얼어붙은 상황에서 대기의 온도가 내려가더라도 지중은 보온이 되는 효과로 인하여 대기온도의 변화에 대한 토양수분의 변화가 거의 나타나지 않는 것으로 나타났다. 이는 대기온도에서 지중온도로 열전달이 강설이나 유기물질 등으로 인하여 차단되어 일정한 온도상태를 유지하고, 이러한 지중온도가 토양수분과 밀접한 상관성을 갖고 있으므로 대기온도와 토양수분의 상관관계는 낮아지는 것으로 분석되었다(Sutinen

등, 1999). 또한 봄부터 가을까지 대기온도의 변화에 대한 토양수분의 변화는 봄에 가장 큰 상관성을 보이다가 여름과 가을에 상관성이 약간 낮아지는 경향을 나타내는데 원인은 측정지역이 침엽수와 활엽수로 이뤄진 혼효림이기 때문에 봄에는 식생이 적게 발달되어 지상까지 비교적 많은 일조량이 도달하는데 비해 여름과 가을에는 식생의 발달로 인하여 지층까지 도달하는 일조량이 줄어들고 이에 따라 지층의 온도가 낮아지는 특성을 갖기 때문이다.

그림 5는 계절별 비습의 변화에 따른 토양수분의 추정값과 측정값의 상관관계를 도식화한 것으로 계절별 상관성이 각각 다르게 나타난다. 그 원인은 한반도의 계절별 기후특성에 의한 것으로 여름의 경우 고온 다습한 기후로 인하여 지중의 토양수분의 변화보다 더 빠른 변동특성을 갖는 비습의 결과로 나타났다. 반면에 겨울의 경우 한랭 건조한 시베리아 고기압의 특성으로 인하여 대기중의 습도는 거의 존재하지 않는 것으로 나타나는 반면 지중의 토양수분은 지표면의 강설이나 얼음으로 인하여 매우 천천히 변동하기 때문에 여름철과 겨울철의 토양수분과 비습과의 관계는 무시해도 좋을 만큼 상관성이 적게 나타나는 것으로 나타났다. 반면에 봄과 가을의 경우는 여름과 겨울에 비해 큰 상관성을 갖는데 이는 대기의 온도가 습도유지에 안정적인 구간(15~25°C)에 분포해 있기 때문으로 분석되었다.

그림 6에서는 계절별 풍속자료를 이용한 토양수분의 추정값과 측정값의 상관관계를 나타내었다. 풍속의 경우 증발산량에 영향을 주는 인자로서 자료 분석결과에 따르면 풍속이 토양수분에 직접 영향을 주기보다 대기온도와 비습을 통해

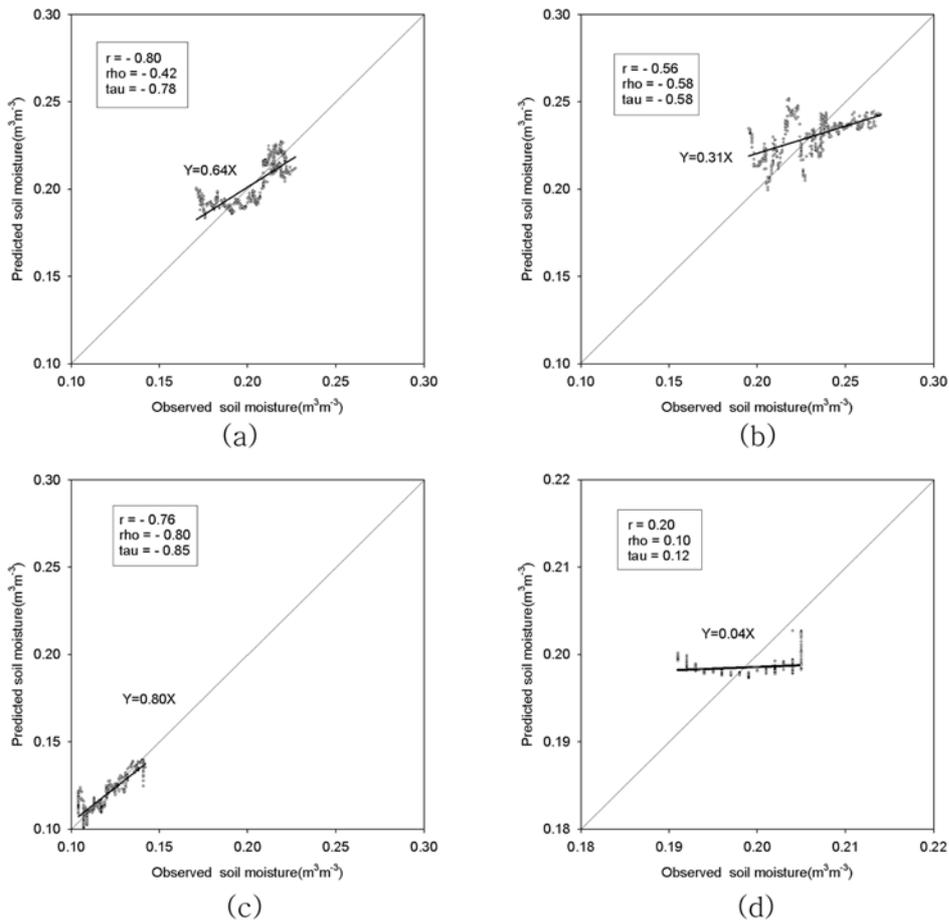


그림 5. 비습을 이용한 토양수분 추정값과 측정값의 상관관계 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

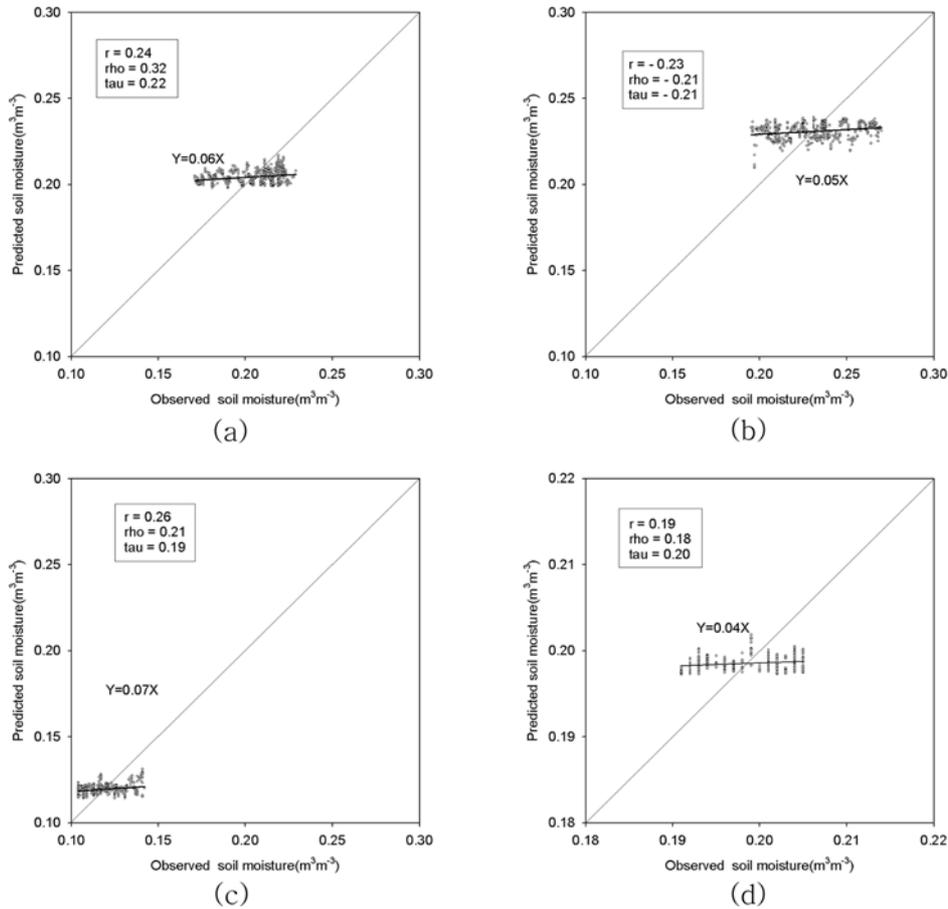


그림 6. 풍속을 이용한 토양수분 추정값과 측정값의 상관관계 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 때문에 풍속에 대한 토양수분의 상관계수는 전 계절에 걸쳐 매우 낮은 수준(0.20~0.32)으로 나타났고, 이러한 결과를 통해 풍속은 토양수분에 직접적인 상관성보다 대기온도와 비습을 조절하여 간접적인 상관성을 갖는 인자로 분석되었다.

#### 4.3 중회귀분석을 통한 추정식 도출

중회귀분석은 하나의 종속변수에 여러개의 독립변수를 적용하여 회귀분석하여 각 독립변수의 상관성에 따른 회귀식을 추정한다. 표 2에 나타난 중회귀분석을 통한 토양수분(SMC)의 추정식은 지중온도(Stemp), 대기온도(Atemp), 비습(SH)의 항으로 이루어지며 계절별 중회귀식은 다음과 같다. 상관분석에서 도출된 결과에 따라 겨울 기간의 중회귀식에서 대기온도와 비습의 회귀계수인 -0.0004과 0.2365는 토양수분과 상관도가 낮으므로 (5)식을 (6)식과 같이 수정해야

할 것으로 판단된다.

그림 7에서 중회귀분석을 통하여 계절별 토양수분을 추정하여 이를 측정값과 비교하였으며 봄의 경우  $R^2=0.82$ , 여름의 경우  $R^2=0.81$ , 가을의 경우  $R^2=0.82$ , 겨울의 경우  $R^2=0.96$ 의 결과를 얻었다. 중회귀분석에 의해 도출된 추정식은 각 인자별 토양수분과의 상관도를 반영하여 토양수분을 추정하며, 계절별 추정된 토양수분은 측정된 토양수분과 매우 잘 부합하는 것으로 나타났다. 겨울의 경우 수정된 식을 사용한 결과 0.96의 매우 높은 상관계수를 얻었는데 이는 다른 인자에 비해 지중온도가 토양수분에 매우 강한 상관성을 나타낸 결과로 분석할 수 있다.

#### 4.4 중회귀식을 이용한 단위 구간 추정

토양수분의 정확한 추정을 위한 연구는 많은 시도가 있었다. 예를 들면, 광온, 토양의 절연성, 전기저항력, 대기온도와

표 2. 분석기간별 중회귀분석의 추정식

분석기간	중회귀분석을 통한 추정식
봄 (4.23-5.4)	$SMC(m^{-3}m^{-3}) = 0.2794 - 0.0058 \times Stemp(^{\circ}C) - 0.0003 \times Atemp(^{\circ}C) - 1.317 \times SH(kgkg^{-1})$ (2)
여름 (6.4-6.15)	$SMC(m^3 m^{-3}) = 0.4623 - 0.0156 \times Stemp(^{\circ}C) + 0.0007 \times Atemp(^{\circ}C) - 1.0163 \times SH(kgkg^{-1})$ (3)
가을 (9.26-10.5)	$SMC(m^3 m^{-3}) = 0.1856 - 0.0021 \times Stemp(^{\circ}C) - 0.0005 \times Atemp(^{\circ}C) - 3.0491 \times SH(kgkg^{-1})$ (4)
겨울 (1.12-1.20)	$SMC(m^3 m^{-3}) = 0.1926 + 0.0174 \times Stemp(^{\circ}C) - 0.0004 \times Atemp(^{\circ}C) + 0.2365 \times SH(kgkg^{-1})$ (5)
	$SMC(m^3 m^{-3}) = 0.1926 + 0.0174 \times Stemp(^{\circ}C)$ (6) (수정식)

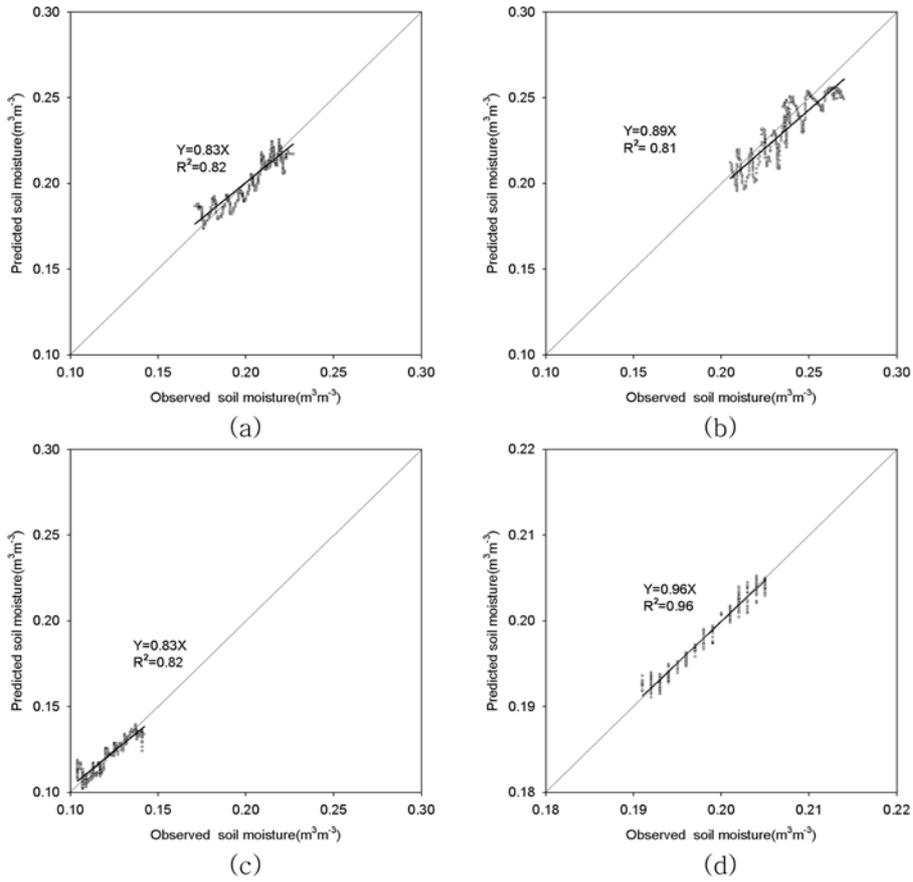


그림 7. 중회귀분석을 이용한 토양수분추정값과 측정값의 상관관계 (a) 봄(b) 여름(c) 가을(d) 겨울

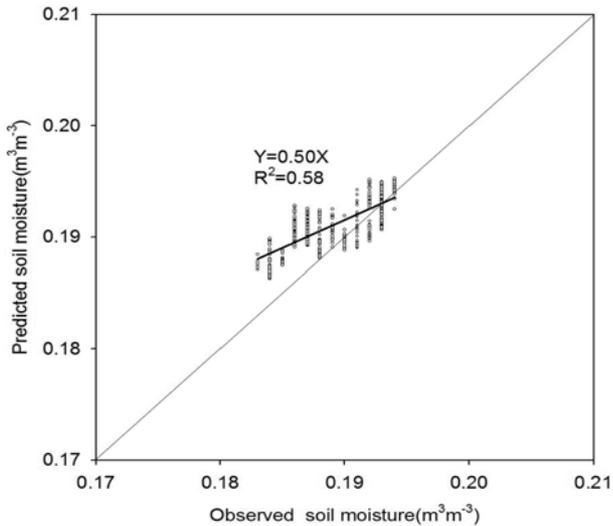


그림 8. 겨울 기간의 중회귀분석을 이용한 1월 21일~1월 31일 토양수분 추정값과 측정값의 비교

지중온도와 같은 다양한 인자들의 관계에 대한 연구가 있었다(Ldso 등, 1975; Lakshmi 등, 2003). 본 연구에서는 선례의 연구에서 제시한 기상인자인 대기온도, 지중온도, 비습을 이용하여 각 기간별로 추정식을 도출하였다. 그림 8에서 겨울 기간의 중회귀분석(2008년 1월 12일~1월 20일)을 이용하여 연구구간 직후의 기간(2008년 1월 21일~1월 31일)을 추정하여 측정값과 비교한 결과  $R^2=0.58$ 의 값으로 부합하는 것으로 나타났다. 본 연구에서의 토양수분 추세식은 설마천에 한하여 적용이 되었지만 각 인자별 토양수분과의 일반적 관계를 도출하였기에 강우 후 감쇄기간에서의 각 인자별 토양수

분에 대한 일반적인 관계를 이해하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 토양수분과 지중온도, 대기온도, 비습, 풍속 간의 관계를 선형회귀분석을 통하여 도출하고자 하였다. 일반적으로 토양수분은 지중온도와 반비례 관계임을 기존 연구를 통해 증명되었으며 본 연구에서는 겨울기간에 지중온도와 토양수분의 관계가 정비례 관계임을 도출하였다. 이는 겨울의 강설이나 지표면의 얼음에 의해 토양수분에 대한 대기의 열전도성이 현저하게 저하되어 겨울철 토양수분의 변동성에 대한 보다 심도있는 연구가 진행될 필요성을 갖게 하였다. 또한 사계절에 대한 토양수분과 Flux tower 현장자료를 바탕으로 중회귀분석의 추정식을 도출하였다. 분석결과 지중온도와 토양수분의 시계열 변이성이 있음을 알게 되었으며 대기온도, 비습과 토양수분의 관계를 이해할 수 있었다. 최근 대기인자와 식생, 토양을 연계하는 종합수문모형에 대한 연구가 진행되고 있으며 토양수분을 이용하여 이를 검증하고 있다. 또한, 위성측정자료의 downscaling을 위한 매개 변수 결정에 있어서 주요 판단자료로 응용되고 있다. 이와 같은 토양수분의 정량적 접근은 수문분석의 정량적 접근을 가능하게 할 것이다. 설마천지역에 대하여 이뤄진 본 연구를 토대로 하여 다양한 지역에 설치된 Flux tower의 자료를 바탕으로 지역의 기후특성을 고려한 측정인자간 상관성에 대한 연구가 필요할 것으로 보여진다. 본 연구에서는 각 인자의 토양수분에 대한 일반적인 경향을 도출하였으며, 주요 지

표향간의 관계를 이해함에 있어서 기초가 되는 자료가 될 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행 되었습니다 (0009742). 그리고 자료 분석에 있어 도움을 준 홍익대학교 수리실험실 진지웅 연구원에게 감사드립니다.

### 참고문헌

강병수, 김계수(2009) SPSS 17.0 사회과학 통계분석, 남양프로 세스.

권효정, 이정훈, 이연길, 이진원, 정성원, 김 준(2009) 설마천 유역의 혼효림에서 관측된 증발산의 계절변화, **한국농림기상학회지**, 한국농림기상학회, Vol. 11, pp. 39-47.

임경택, 이영형, 성낙창(2002) **수문기상학**, 지구문화사.

진지웅, 황교택, 최민하, 이승오, 정성원(2009) CLM을 이용한 설마천의 토양수분량 산정, **대한토목학회 정기학술대회**, 대한 토목학회, Vol. B, P1-91.

한국건설기술연구원(2004) **시험유역의 운영 및 수문 특성 조사 · 연구**, 건기연 98-077.

Barling, R., Moore, I., and Grayson, R. (1994) A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zone of surface saturation and soil water content, *Water Resources*, Vol. 30, No. 4, pp. 1029-1044.

Bosch, D.D., Lakshmi, V., Jackson, T.J., Choi, M., and Jacobs, J.M. (2006) Large scale measurements of soil moisture for valida-

tion of remotely sensed data: Georgia soil moisture experiment of 2003, *Journal of Hydrology*, Vol. 323, pp. 120-137.

Choi, M., Jennifer, M., and Bosch, D.D. (2008) Remote sensing observatory validation of surface soil moisture using Advanced Microwave Scanning Radiometer E, Common Land Model, and ground based data: Case study in SMEX03 Little River Region, Georgia, U.S., *Water Resources*. Vol. 44, W08421.

Dingman, S.L. (1994) *Physical Hydrology*, ISBN : 0-02-329745-X, Macmillan Publishing Company, America.

FLUXNET (2009) <http://daac.ornl.gov/FLUXNET/>.

Idso, S., Schmugge, T., Jackson, R., and Reginato R. (1975) The utility of surface temperature measurements for remote sensing of soil water status, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 80, pp. 3044-3049.

Lakshmi, V., Jackson, T., and Zehrhuhs, D. (2003) Soil moisture-temperature relationships: results from two field experiments, *Hydrol. Process*, Vol. 17, pp. 3041-3057.

Lee, T.J. and Pielke, R.A. (1991) Estimation the soil surface specific humidity, *Journal of Applied Meteorology*, Vol 31, pp. 480-484.

Myers, W., Linden, S., and Wiener, G (2009) A Data Mining Approach to Soil Temperature and Moisture Prediction, *Seventh Conference on Artificial Intelligence and its Applications to the Environmental Sciences*, Phoenix, Az. 2-1.

Sutinen M.L., Holappa T., Ritari A., and Kujala K. (1999) Seasonal changes in soil temperature and snow-cover under different simulated winter conditions: Comparison with frost hardness of Scots pine(*Pinus sylvestris*) roots, *Chemosphere: Global Change Science* 1, pp. 482-492.

(접수일: 2010.3.15/심사일: 2010.4.16/심사완료일: 2010.6.25)