

CART기법과 보조자료를 이용한 토양수분 추정**Soil Moisture Estimation Using CART Algorithm and Ancillary Data**

김 광 섭* / 박 한 균**

Kim, Gwangseob / Park, Han Gyun

Abstract

In this study, a method for soil moisture estimation was proposed to obtain the nationwide soil moisture distribution map using on-site soil moisture observations, rainfall, surface temperature, NDVI, land cover, effective soil depth, and CART (Classification And Regression Tree) algorithm. The method was applied to the Yong-dam dam basin since the soil moisture data (4 sites) of the basin were reliable. Soil moisture observations of 3 sites (Bu-gui, San-jeon, Cheon-cheon2) were used for training the algorithm and 1 site (Gye-buk2) was used for the algorithm validation. The correlation coefficient between the observed and estimated data of soil moisture in the validation sites is about 0.737. Results show that even though there are limitations of the lack of reliable soil moisture observation for various land use, soil type, and topographic conditions, the soil moisture estimation method using ancillary data and CART algorithm can be a reasonable approach since the algorithm provided a fairly good estimation of soil moisture distribution for the study area.

Keywords : soil moisture, CART, decision tree, rainfall

요 지

본 연구에서는 우리나라 전역에 대한 토양수분 분포도 작성을 위하여 지상관측 토양수분, 강수량, 지면온도, NDVI, 토지피복, 유효토심 등과 같은 보조자료와 CART기법을 이용한 새로운 추정기법을 제시하였다. 먼저 신뢰성 높은 토양수분 관측자료를 가진 용담댐 유역(4개 지점)에 대하여 토양수분을 추정하여 적용 가능성을 분석하였다. 3개 지점(부귀, 상전, 천천2)의 토양수분 관측치는 토양수분 추정 모형 수립에 사용하였으며, 검증에 1개 지점(계북2)이 사용되었다. 관측지점들의 토양수분의 관측치와 추정치 사이의 상관계수가 약 0.737로 나타났으며, 전체적인 토양수분의 거동을 잘 나타내고 있어 토양수분 추정 모형의 적용가능성을 확인하였다. 이를 이용하여 용담댐 유역의 토양수분 분포와 우리나라 전역에 대한 토양수분 분포도를 추정하였다. 다양한 기상조건에 대하여 신뢰할 수 있는 지상관측 토양수분 관측치가 존재하지 않는 한계가 있음에도 불구하고 제시된 토양수분추정방법은 제한된 가용자료를 사용한 우리나라 전역의 토양수분 추정에 있어 합리적인 접근법이라 판단된다.

핵심용어 : 토양수분, CART, 의사결정나무, 강수량

* 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 토목공학전공 부교수 (e-mail: kimg@knu.ac.kr)

Associate Professor, School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

** 교신저자, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 토목공학전공 석사과정 (e-mail: idegogo@nate.com)

Corresponding Author, Graduate Student, School of Archi. & Civil Engineering, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

1. 서론

토양수분은 토양입자나 공극에 포함되어 있는 물을 의미하는 것으로, 담수의 약 0.15%를 차지하고 있는 정도지만, 토양수분은 지표면과 대기간의 에너지균형과 물순환을 조절하는데 중요한 요소이다 (Mahmood and Hubbard, 2004). 토양수분의 시공간적인 특성은 증발, 침투, 지하수, 식생 등에 영향을 미치는 중요한 변수로서, 토양수분을 측정하는 방법에는 세타 탐침 (theta probe), 장력계, TDR (Time Domain Reflectometry) 등이 이용되고 있으며 (이기영 등, 2004), 광역에 대한 토양수분자료의 보다 정확한 공간변동성을 관측하기 위하여 항공원격탐사 (airborne remote sensing)와 인공위성 원격탐사 (spaceborne remote sensing)기술이 개발되어 적용되고 있으나 국내에서는 항공원격탐사를 위한 장비의 부재로 인하여 관측경험이 전무한 실정이며, 토양수분에 대한 인공위성 원격탐사 자료는 NASA의 지구관측 시스템에서 제공하는 AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System)기기의 C밴드 토양수분 관측자료가 가용하나 수문적용에 부적합한 평균 38 km인 관측격자 크기, 약 1 cm인 관측심에 따른 오차와 식생피복과 표면 거칠기 등 지면조건에 민감한 센서의 한계 등으로 인하여 토양수분을 과소추정하고 지상조건에 따른 공간변화도를 표현하기에는 한계가 있다. 또한 지상관측소를 설치하여 다양한 시공간 분해능을 가진 토양수분 자료를 관측하는데 많은 설치비용과 인력이 소요되므로, 다양한 토지피복 조건, 지형, 토양, 식생피복 상태에 관하여 신뢰할 수 있는 국내 토양수분 관측 자료는 부족한 현실이다. 이에 국외 토양수분 연구자들은 우선적으로 토양수분 모형화 연구가 선행되어야 한다고 역설하고 있으며 (Njoku and Entekhabi, 1996), 국내에 진행된 연구로는 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용한 토양수분지수 산정과 가뭄관리를 위한 적용에 관한 연구 (황태하 등, 2006)와 강우의 체계학적인 특성을 고려한 체계학적 토양수분 모형을 제시하였다 (한수희 등, 2009). 토양수분의 변화도 분석연구로는 토양수분의 시공간적 변화 양상에 대한 강우의 영향분석 (유철상, 1998) 및 EOF 분석을 통한 시공간적 변화 특성 파악에 대한 연구 (Yoo and Kim, 2004)가 수행되었다. 원격측정자료를 이용한 토양수분 관련연구로는 위성영상의 토양수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄 민감도 분석에 대한 연구 (박은주 등, 2002)와 다중채널 원격측정자료를 활용한 토양수분자료의 변화와 지상조건과의 상관관계를 분석하였다 (김광섭, 2006). 또한 가용자료를 활용한 2차원 토양수분자료의 downscaling을 위하여 인공신경망기법 적용 (김광섭과 이을례, 2004)과

fractal 기법 적용 (Kim and Barros, 2002)한 연구 등 다양한 연구가 수행되었다.

우리나라에서의 토양수분 관측은 2000년도부터 관측을 시작하여 현재 지속적으로 관측이 실시되고 있으나, 장비의 노후화로 인해 대부분의 관측지점에서 신뢰할 수 있는 관측이 실시되고 있지 않은 실정이다. 토양수분에 영향을 미치는 수문인자들은 다양하고 그 과정 역시 매우 복잡하여 부족한 토양수분 지상관측 자료를 통해서도 우리나라 전역의 토양수분의 변화를 이해하기에는 다소 무리가 따른다. 그럼에도 불구하고 물순환 규명, 돌발홍수예보, 가뭄예보, 수자원 관리, 기상예측 등 여러 분야에서 토양수분 자료의 필요성이 대두되고 있는바 관측된 가용 자료를 이용하여 토양수분을 추정하고 예측하기 위한 토양수분 모형에 대한 연구가 수행되어오고 있다. 본 연구에서는 토양수분 변동성에 영향을 주고 공간정보 확보가 용이한 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MODIS LST (Land Surface Temperature), 토지피복, 토양도 (유효토심, 종류), 지상관측망 토양온도, 강우량, 토양수분 등의 보조자료와 통계기법을 활용하여 2차원 토양수분자료를 추정하는 방법론을 제시하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 다양한 가용자료가 내포하고 있는 토양수분과의 상관성 동질그룹을 판별하고 최적 동질그룹에 대한 회귀식을 산정하기 위하여 CART분석 기법을 채택하였다. CART기법은 의사결정분석방법 중에 널리 사용되는 기법으로 개발하였으며 (Briemen et al., 1984), 컴퓨터의 기계학습 (machine-learning) 실험의 토대가 된 기법이다. CART기법은 다양한 형태의 입력자료에 대하여 분류기준에 따라 각 마디 (node)에서 이진분리 (binary splitting)를 통하여 동질그룹을 분리하는 의사결정나무를 구성한다. 분리를 실시할 때 지니지수 (gini Index)를 이용하여 자료들의 특성을 분석하고, 하위마디가 유사한 그룹으로 구성될 수 있도록 분리되는 기준을 결정하는 작업이 선행되어야 한다. CART기법은 여러 변수를 이용하여 목표변수를 산정하는 규칙들의 집합을 생성하는데 준비된 자료를 일정한 분리기준에 따라 이진분리를 실시하고, 분류된 두 그룹의 지니지수를 각각 계산하여 그룹화된 변수의 동질성이 높은 방향으로 진행된다 (Briemen et al., 1984). 앞서 말한 지니지수는 Eq. (1a)로 표현되며, 지니지수를 이용한 분리기준은 Eq. (1b)를 이용하여 지니지수가 최소화될 경우를 기준으로 한다.

$$Gini\ Index(t) = 1 - \sum_j [P(j/t)]^2 \quad (1a)$$

$$Gini_{split} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{n} Gini(i) \quad (1b)$$

여기서 $P(j/t)$ 는 t 번째 하위마디에서의 j 변수의 상대 도수를 말하며, k 는 하위마디의 총 개수, n_i 는 하위마디 i 의 자료 개수를 나타내고, n 은 상위마디의 자료 개수를 나타낸다.

CART기법은 지니지수가 가장 작아지는 변수를 전체 자료에서 가장 영향력이 큰 변수로 판단하고 분리를 진행한다. 지니지수를 이용한 분류는 자료가 범주형을 띠고 있을 경우에는 서로간의 동질성을 분석하여 하위마디들을 유사한 그룹으로 구성되도록 진행하고, 연속형 변수일 경우에는 최소자승법을 이용하여 분류를 실시하는데 Eq. (2a)와 같이 t 번째 마디의 편차합은 다음과 같이 구하며, 가장 좋은 분류는 Eq. (2b)를 이용하여 $\phi(s,t)$ 의 값이 최대가 되는 경우를 의미한다. 상위마디를 2개의 하위마디로 나누어서 각 마디 자료들의 흠어짐 정도를 최소화하는 방향으로 분류를 진행한다.

$$SS(t) = \sum (y_{i(t)} - \bar{y}_{(t)})^2, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N_t \quad (2a)$$

$$\phi(s,t) = SS(t) - SS(t_R) - SS(t_L) \quad (2b)$$

여기서 $SS(t)$ 는 t 번째 마디에서의 편차제곱의 합을 나타내며, $SS(t_R)$ 는 t 번째 마디의 하위마디 중에 오른쪽 하위마디의 편차제곱의 합을 나타내고 $SS(t_L)$ 는 왼쪽 하위마디의 편차제곱의 합을 나타낸다.

연속형 변수를 분류할 경우에는 특정한 마디를 분리하여 비슷한 성질을 가진 개체들을 동일한 그룹에 모으고 나머지 개체들을 다른 그룹으로 나눈 것으로 분산의 감소량이 가장 최소가 되는 분리조합을 최선의 분리로 보는 방법이다. 의사결정나무를 지속적인 분리로 계속 확장을 실시할 경우에는 최종마디가 오직 하나의 자료만 가지고 있거나, 동일한 분류 값을 가지고 있을 경우에 멈출 수 있다. 하지만 이것은 자료상관관계를 나타내는데 있어 매우 비효율적인 접근으로 적절한 선에서 분류를 중지할 필요가 있다. 이에 일정한 정지규칙을 정하여 더 이상의 분류가 진행되지 못하게 하거나, 상·하위 마디의 비교를 통하여 불필요한 하위 마디를 제거한다. 이를 가지치기(pruning)라고 하며, 가지치기는 분석에 사용되지 않은 자료를 이용하여 실시하는데 분류를 진행하여 완전히 분류가 끝난 나무 T_{max} 의 일부분을 T 라고 정의하고, T 의 조정에러율은 Eq. (3)과 같은 식을 이용하여 산정한다.

$$AE(T) = E(T) + \alpha L(T) \quad (3)$$

여기서 $AE(T)$ 는 조정에러율(adjusted error rate), $E(T)$ 는 검증자료를 T 에 적용하여 자료가 잘못 분류될 경우의 비율 즉, 에러율을 말하며, $L(T)$ 는 최종마디의 개수, α 는 가중치로 $\alpha=0$ 일 경우에는 가지치기를 실시하지 않은 나무가 된다. 이에 $AE(T)$ 가 최소가 되는 T 를 선택하고 가지치기를 중지한다. 가지치기가 끝난 의사결정나무는 주어진 자료에만 적용 가능한 나무이므로, 새로운 자료에 대한 적용은 부족한 상태이다. 이에 일반적으로는 교차검증 방식 또는 시험용 자료 검증 방식을 사용한다. 모형의 타당성을 평가하기 위하여 훈련자료(training data)와 검증자료(test data)로 분리 적용한다. 수집된 자료의 양이 모형을 생성하는데 부족하다고 판단이 되는 경우에는 주어진 자료를 최대한 이용하여 신뢰성을 높이는 방법으로 주로 사용하는 방법이 K 배 교차 검증법(k-fold cross validation method)이다. K 배 교차 검증법이란 주어진 자료를 K 등분하여, $(K-1)/K$ 는 훈련자료로 사용하고 나머지 $1/K$ 는 검증자료로 사용하여 모형의 산정력을 평가하는 방법이다. 총 K 번을 반복하여 실시하며, 모든 자료가 한 번씩 검증자료에 속하고, 이를 통해 모든 자료에 대한 모형을 생성하게 된다. 많은 연구들을 통하여 K 가 10일 경우, 적절하다고 알려져 있으며(Breiman, 1996), 본 연구에서도 10배 교차 검증법을 적용하였다.

3. 연구결과

3.1 대상 유역 및 토양수분 추정

2차원 토양수분 추정과 산정식의 적용성을 검토하기 위하여 2001년에 정량적인 수문조사와 분석을 목적으로 한국수자원공사에서 관측을 실시한 용담댐 수자원 시험 유역의 토양수분 자료를 이용하고자 한다. 용담댐 유역은 북위 $36^{\circ}00' \sim 35^{\circ}35'$, 동경 $127^{\circ}20' \sim 127^{\circ}45'$ 에 위치해 있으며, 면적은 약 930.43 km^2 이며, 수자원관리정보시스템(WAMIS)에서 획득한 토양도(유효토심, 종류)에 따르면, 면적의 62.09%가 얇은 토심을 이루고 있으며 토양의 종류는 면적의 65.33%가 사양질과 식양질로 이루어져 있고, 식질이 9.76%로 다음으로 많은 비율을 차지하고 있다. 산림의 41.48%가 활엽수림로 이루어져 있으며, 침엽수림은 36.20%의 비율을 차지하고 있다. Fig. 1은 대상유역인 용담댐 유역과 우량관측소의 위치를 나타낸 그림이다.

토양수분 추정식 산정과 검증을 위하여 용담댐유역에 설치된 4개 지점(부귀, 상전, 천천2, 계북2)의 강수량자료와 토양수분자료를 이용하였으며, 자료의 기간은 2008년

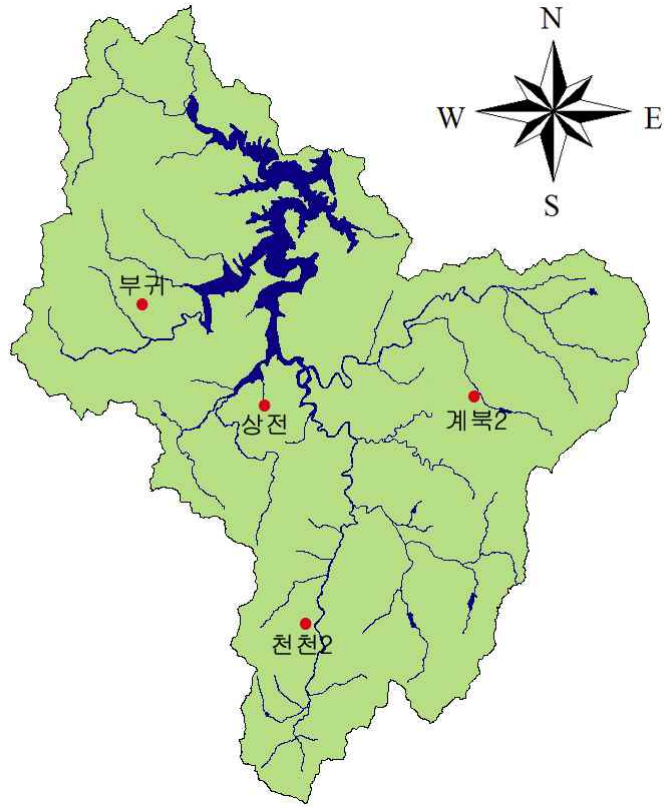
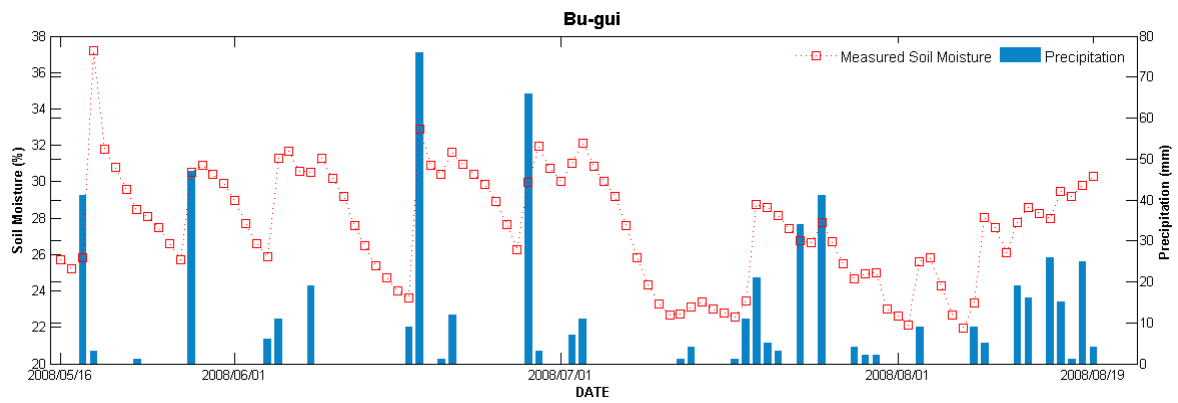
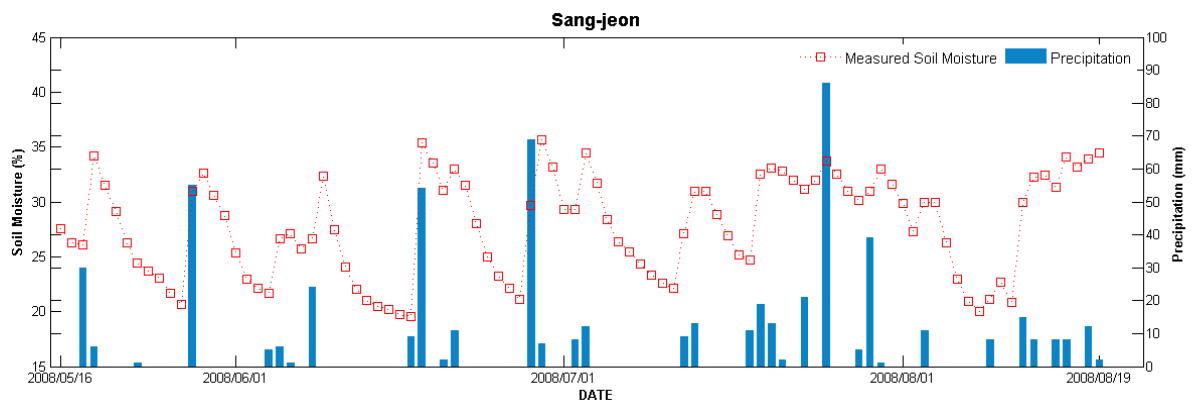


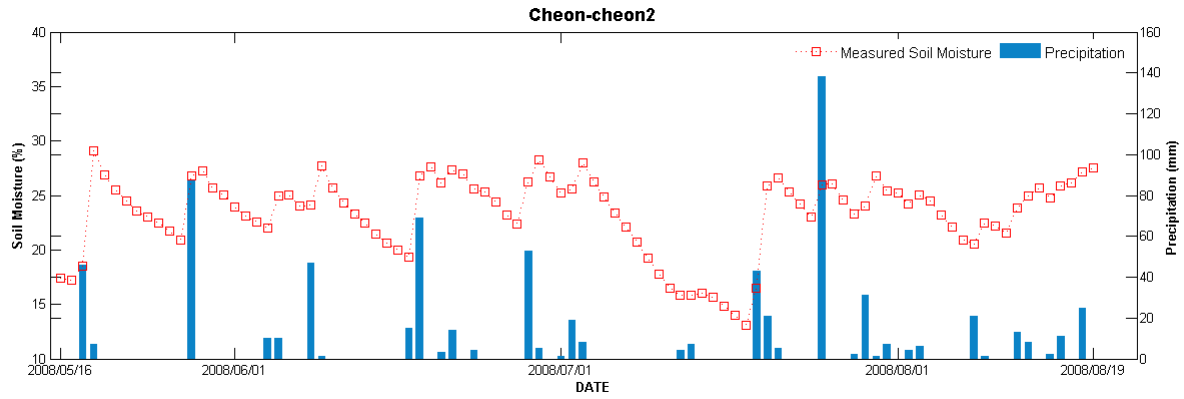
Fig. 1. Location of Rain Gauge Stations in Yong-am Dam Basin



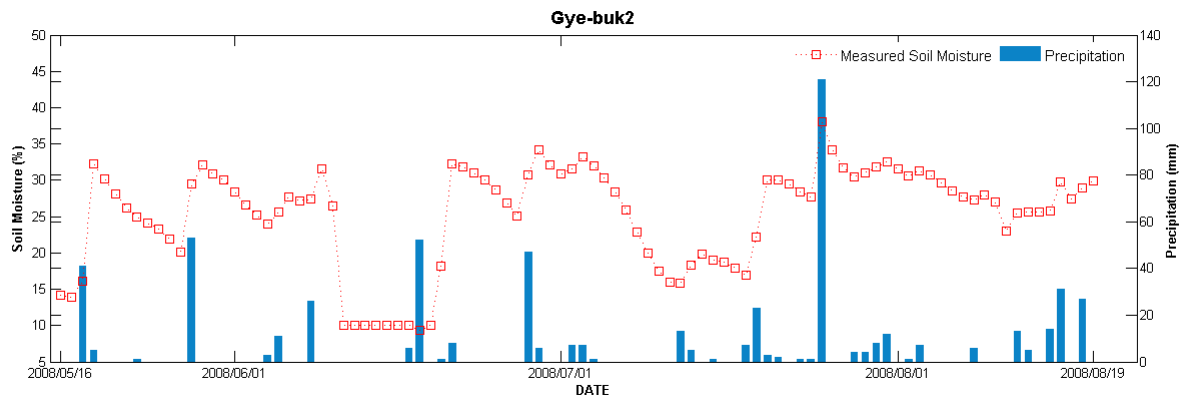
(a) Bu-gui



(b) Sang-jeon



(c) Cheon-cheon2



(d) Gye-buk2

Fig. 2. Soil Moisture and Precipitation Data of Stations

5월 16일부터 8월 19일까지이며 일단위 토양수분 자료이다. Fig. 2는 4개 관측지점의 토양수분과 강수량 자료의 시계열을 나타낸 그림으로, 시계열 자료가 보여주는 강우 사상에 대한 토양수분의 반응과 비 강수기간동안의 토양수분 감쇄 등 전반적인 거동을 잘 나타내고 있다.

Figs. 3(a) and 3(b)는 각각 유효토심별, 종류별 토양도를 나타낸다. Figs. 3(c), 3(d) and 3(e)는 각각 NDVI, 토양 온도, 강수량 자료 샘플을 나타낸 그림이다. 관측소별 일 강우량을 토양수분 자료 주기와 동일하게 일 단위로 구성하였으며, 대상 지역의 강우량 공간분포를 산정하기 위해 일 강우량 지점 자료를 공간적인 자료로 변환하는 작업이 필요하다. 공간보간 방법은 미관측지점의 자료를 추정하기 위해서 관측지점의 자료를 이용하여 예측하는 기법이며, 널리 사용되는 기법으로 IDW (inverse distance weighted), 스플라인 (spline), 크리깅 (kriging), 경향면 분석 (trend surface model) 등이 있으며 (조홍래와 정종철, 2006), 예측에 사용되는 관측지점의 수와 사용함수의 차이에 따라 다양한 예측값을 나타낸다. 관측지점수의 변화와 사용함수의 변화가 예측값 정확도의 변화에 미치는 정도가 다른 보간기법에 비해 작은 IDW법 (조홍래와 정종철, 2007)을 이용하여 강우량 공간자료를 산출하였다.

본 연구에서는 2차원 토양수분 추정을 위한 입력변수로 MODIS 위성관측 자료로부터 획득한 우리나라 전역에 대한 정규식생지수와 지표면온도자료를 사용하였다. 정규식생지수는 근적외선 파장대 (near-infraRed)와 적색영역 (red) 반사도 값의 합과 차의 비로 계산되며, 계산식은 Eq. (4)로 표현된다.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

정규식생지수는 식생의 존재와 지표 식생의 상태를 나타내는 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 식생지수 중의 한가지로서 (Rouse et al., 1974), 정규식생지수는 무차원 값으로 $-1.0 \sim +1.0$ 의 범위를 가지고, 0.1보다 큰 값을 가질 때는 일반적으로 그 지역의 식생이 증가하는 것을 보여주며, 암반이나 나지에서는 0과 0.1 사이의 값을 가지며, 물이나 비 식생지역에서는 0보다 작은 음의 값을 가진다. 본 연구에서는 NASA에서 제공하는 MODIS product MOD13 Vegetation Indices 자료를 사용하였으며 자료기간은 2000년 2월부터 2008년 12월까지이고, 관측주기는 1개월, 공간 해상도는 1 km 자료이다. NDVI 자료의 좌표 체계는 상송도법 (sinusoidal projection)이며, 한 영상에는

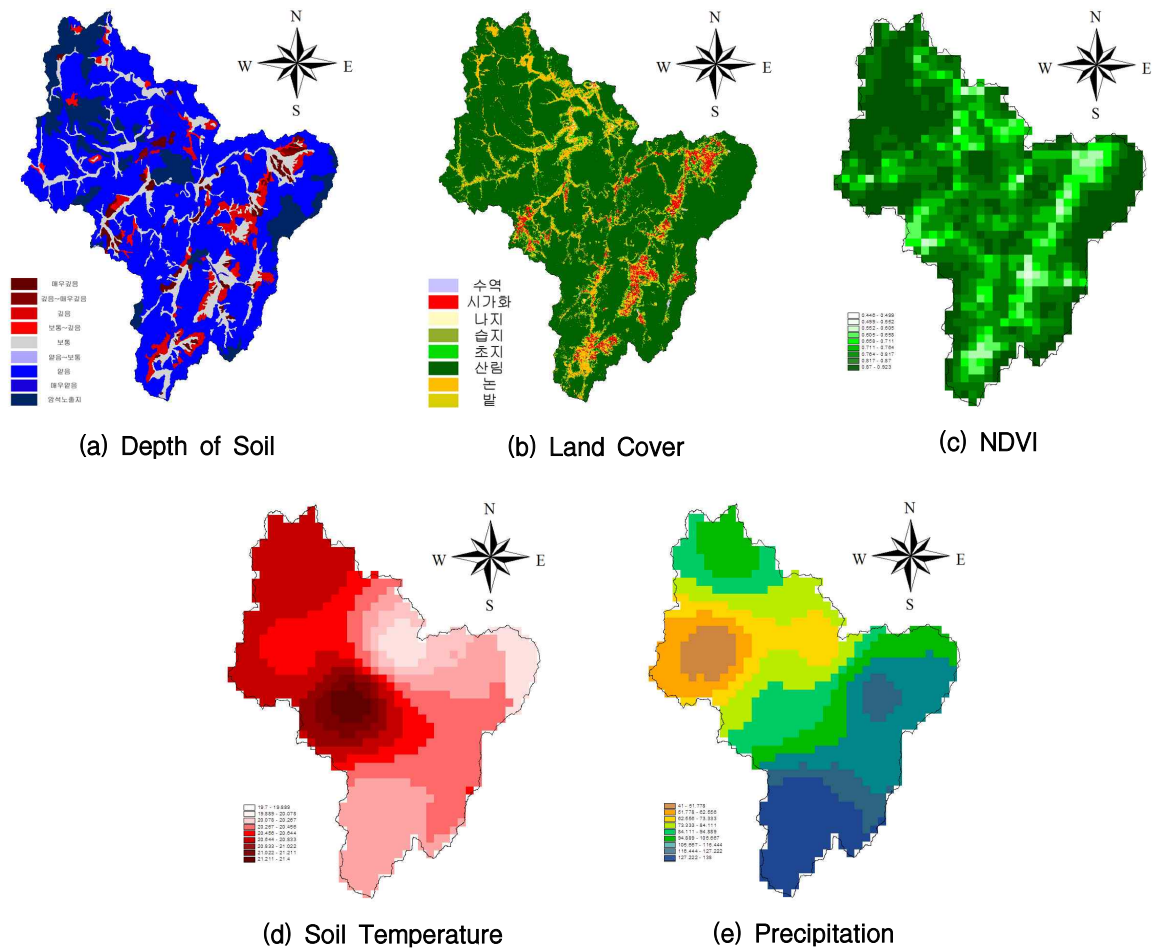


Fig. 3. Information of Yong-dam Dam Basin

Table 1. Soil Type, Soil Depth, and Basic Statistics of Observation Sites

Station	Soil Depth	Land cover	Soil type	NDVI		Maximum Precipitation (mm/day)	Soil temperature(°C)		Soil moisture(%)	
				Min	Max		Min	Max	Min	Max
부귀	보통	산림	식양질	0.7820	0.8530	76	16	27.2	21.9	37.2
상전	얇음	산림	식양질	0.7460	0.8460	86	16.6	29.4	19.6	35.6
천천2	얇음	산림	식양질	0.6950	0.8100	138	15.3	27.6	13.1	29.1
계북2	깊음	산림	식질	0.4860	0.7600	121	16.1	26.6	9.35	38.0

1200 (row)×1200 (column)으로 이루어져 있으며, 구역을 나타내는 h27v04, h27v05, h28v04, h28v05 4개의 영상을 합친 후 TM(Transverse Mercator)좌표계로 변환하고 대상유역을 추출하여, 1 km 공간 해상도를 가진 Monthly NDVI자료를 획득하였다. 본 연구에서 활용된 MODIS LST 자료는 해상도 1 km의 일별주기 자료로 EOS (Earth Observing System) Data Gateway에서 제공한 자료를 획득하였다.

3.2 용담댐 지역의 토양수분추정

공간적으로 향상된 토양수분자료를 획득하기 위해서 CART분석에 사용된 변수는 대상 유역의 토지피복, 토양도(유효토심, 종류), MODIS LST, MODIS NDVI, 토양온도(°C), 강수량(mm), 지점 토양수분(%) 등 8가지의 변수가 사용되었으며 토지피복과 토양도(유효토심, 종류)는 범주형 변수이고, 나머지 변수들은 연속형 변수이다. Table 1은 관측지점의 변수별 기초 통계량을 나타낸

표로 NDVI의 경우에는 최소 0.4860부터 최대 0.8530의 값으로 분포되어 있으며, 대부분의 변수들의 경우에는 NDVI와 같이 비슷한 수치대로 자료가 구성되어 있으며, 토양수분 실측치의 경우에는 보통 최소 13%대에서 최대 38%까지 다양하게 분포되어 있다. 본 연구에 수집된 자료 중에 CART기법에 적용한 지점은 부귀, 상진, 천천2 총 3개의 지점이고, 계북2 지점은 CART기법 분석 후 생성된 산정식의 검증자료로 사용하였다.

대표적인 분류나무 구성법인 CART의 장점은 앞서 전술한 것과 같이 수집된 자료의 형태상 강수량, 지면온도

와 같은 연속형 자료와 유효토심별 토양도, 토지피복과 같은 범주형 자료를 동시에 사용가능하며, 산정된 규칙을 사용자가 이해하기 쉽다는 것이다. CART기법을 이용하여 용담댐 유역 대상기간 동안의 보조자료에 적용한 결과 5개의 최적 산정식을 생성하였으며 (Fig. 4), 생성한 산정식을 이용한 토양수분 추정치와 관측치 사이의 상관성을 분석한 결과, 대상 관측지점 (부귀, 상진, 천천2)에서의 상관계수는 약 0.747로 나타났다. 이는 생성된 토양수분으로 적절한 추정이 가능하다고 볼 수 있으나, 관측지점이 대부분 비슷한 종류의 토양과 토지피복을 가지고 있어 범주

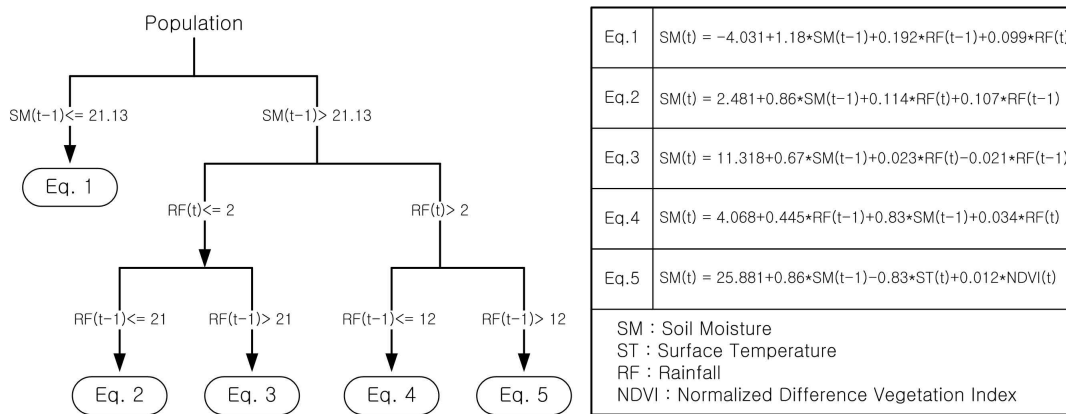
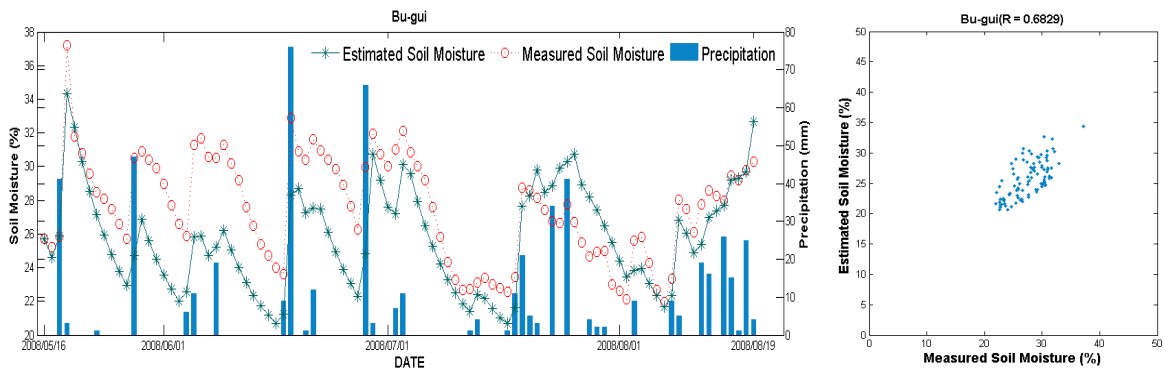
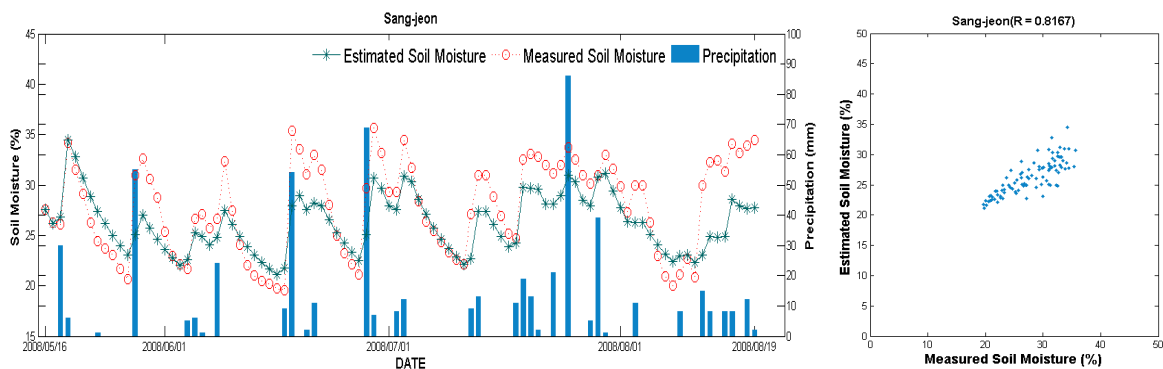


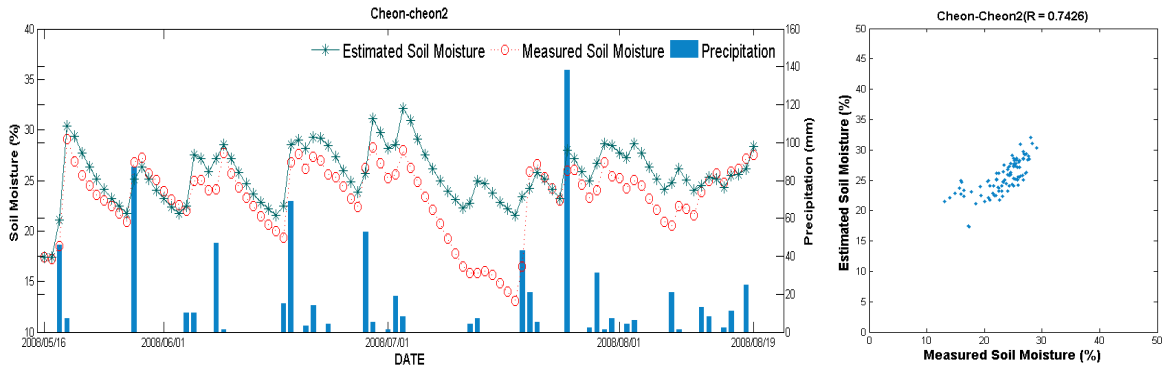
Fig. 4. Equations Using CART Algorithm



(a) Bu-gui



(b) Sang-jeon



(c) Cheon-cheon2

Fig. 5. The Time Series of Estimated Soil Moisture and Measured Soil Moisture of 3 Stations

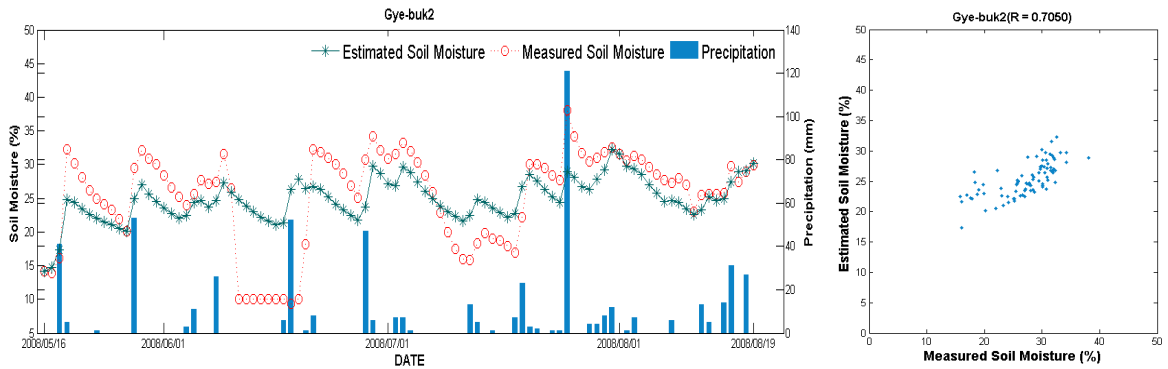


Fig. 6. The Time Series of Estimated Soil Moisture and Measured Soil Moisture of Gye-buk2

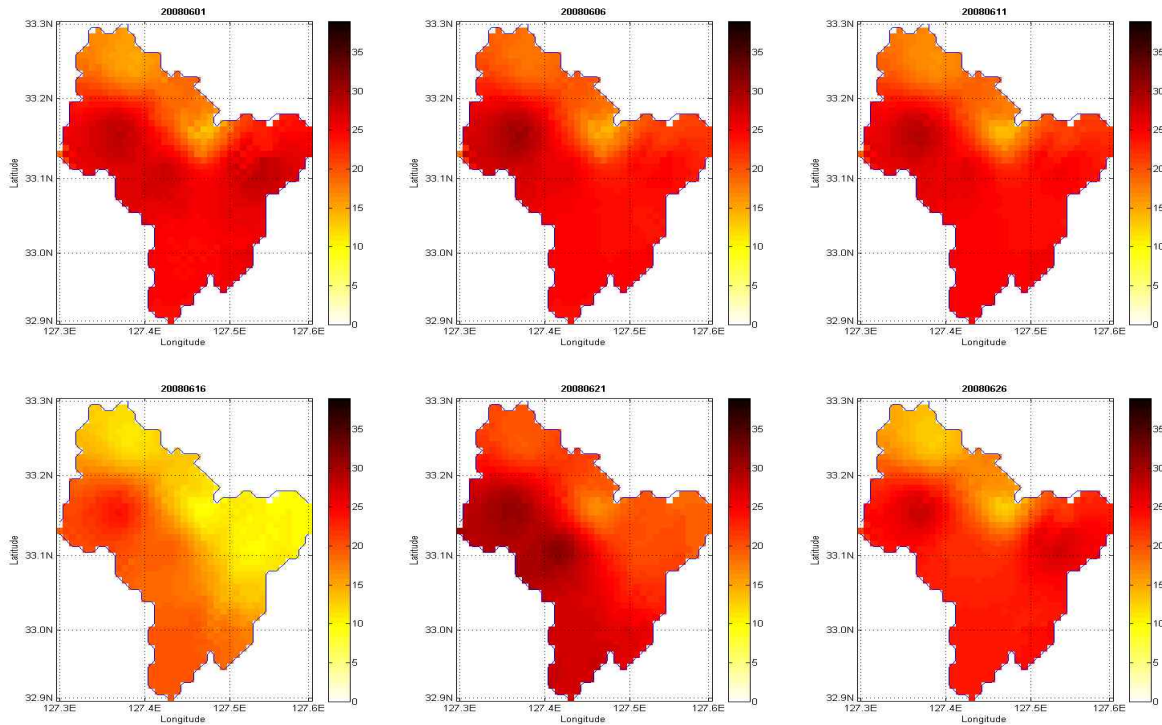


Fig. 7. The Distribution of Soil Moisture of Yong-dam Dam Basin

형 변수에 따른 변화보다는 강수량과 같은 연속형 변수에 따른 변화양상을 보였다.

Fig. 5의 CART기법 적용에 따른 부귀, 상전, 천천2 3개의 지점의 토양수분 추정치와 관측치 시계열 자료는 강

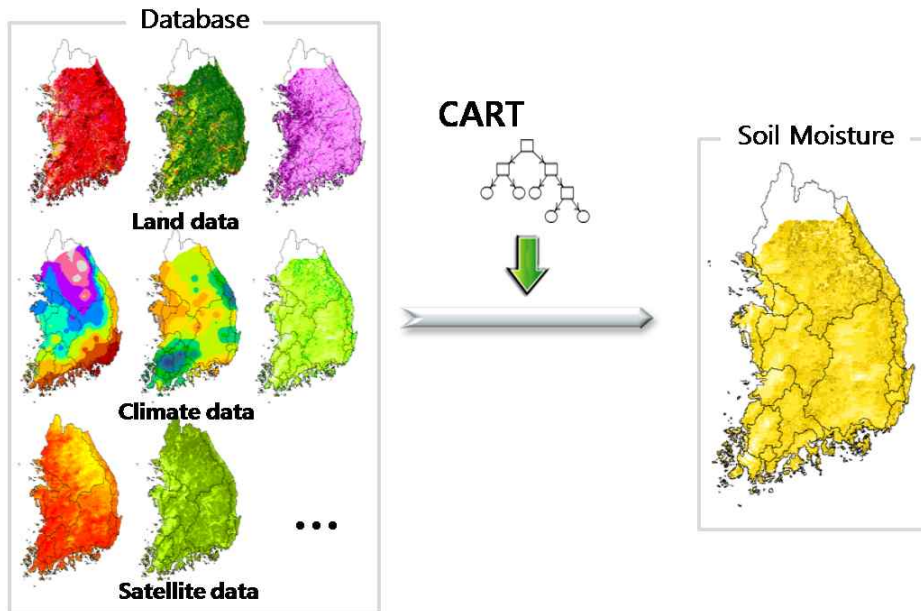


Fig. 8. Schematic Diagram of Nationwide Soil Moisture Estimation

수사상에 대한 토양수분의 반응과 감쇄거동을 잘 나타내고 있어 모형의 적용성이 높음을 보여준다. 검증 지점으로 선택한 계북2지점은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 0.7050의 상관성을 보였으며, 생성된 상관식이 적절하다는 것을 보여주었다.

검증 자료를 통하여 검증된 상관식이 용담댐 유역의 토양수분을 추정하는데 적합한 추정 가능성이 있다고 판단되어 용담댐 유역의 토양수분 분포도를 추정하였다. Fig. 7은 2008년 6월의 용담댐 유역 토양수분 공간적 변화를 낸 그림으로 토양수분 공간적 분포를 잘 반영하고 있으며, 용담댐 유역의 대부분을 차지하고 있는 산림지역의 토양수분이 다른 지역에 비하여 높은 수치를 보였으며, 이는 토지피복에 따른 토양수분의 분포를 잘 표현했다고 할 수 있다.

3.3 우리나라 전역 토양수분 추정

용담댐 유역에 대해 적용한 산정식을 우리나라 전역을 대상으로 추정하고자 MODIS NDVI 자료와 LST, 수자원 관리정보시스템 (WAMIS)에서 획득한 우리나라 전역에 대한 토지피복, 토양도 (유효토심, 종류) 자료를 수집하였으며, 전국 76개소 기상관측소 중에 자료의 기간이 30년 미만인 관측지점과 지역이 섬인 지점들을 제외한 56개 지점의 강수량, 토양온도 자료를 사용하였다 (Fig. 8). 연구기간은 MODIS 위성영상자료와의 비교를 위하여 2003년 1월부터 2008년 12월까지를 선택하였으며, 관측소별 일 강수량을 MODIS 자료 주기와 동일하도록 월강수량으로 계산하고, 강수량과 같은 지상관측망 자료는 IDW



Fig. 9. Location of Rain Gauge Stations

법을 이용하여 MODIS NDVI 위성영상자료와 동일한 1 km 공간해상도를 가진 기상자료로 생성하였다. Fig. 9는 본 연구에 사용된 우량관측소를 나타낸다.

CART기법과 각종 보조자료를 이용하여 용담댐 유역에 대하여 추정된 토양수분 추정모형을 이용하여 우리나라 2008년 월별 토양수분 분포의 추정 가능성을 검토하였다. Fig. 10은 2008년 한반도 토양수분 추정치의 월별, 공간별 평균을 나타낸 그림이며, Fig. 11은 2008년 월별 한

반도의 토양수분 분포를 나타낸다. 월별 토양수분의 공간 분포는 용담댐 유역에 적용한 결과와 마찬가지로 식생 분포에 따른 유역 특성이 잘 반영된 결과를 보여주었다. 월별 토양수분의 면적평균값의 시계열은 강우 패턴을 전체적으로 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 토양수분 변동성에 영향을 주고 공간정보 확보가 용이한 MODIS NDVI, MODIS LST, 토지피복, 토양도(유효토심, 종류), 지상관측망 토양온도, 강우량, 토양수분 등의 보조자료와 의사결정나무기법 중에 하

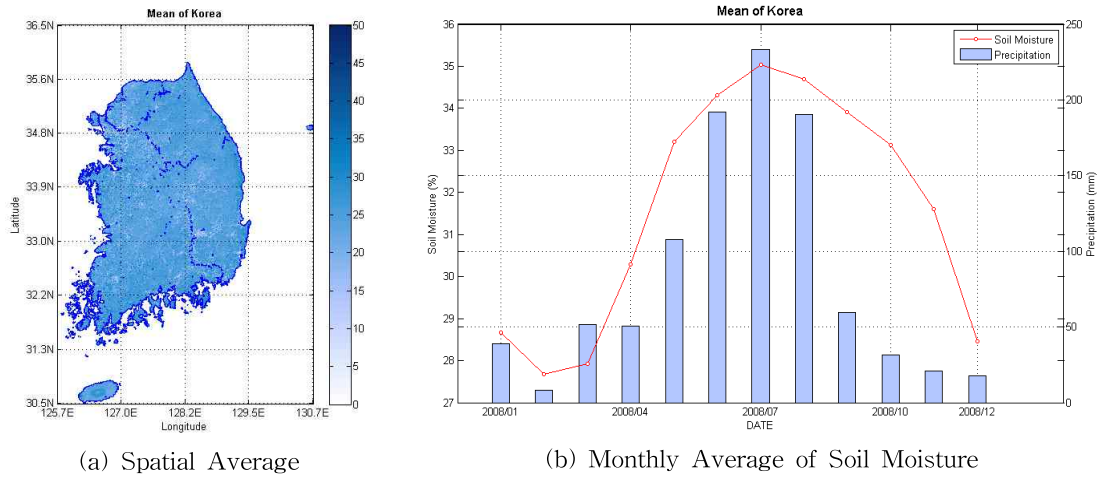
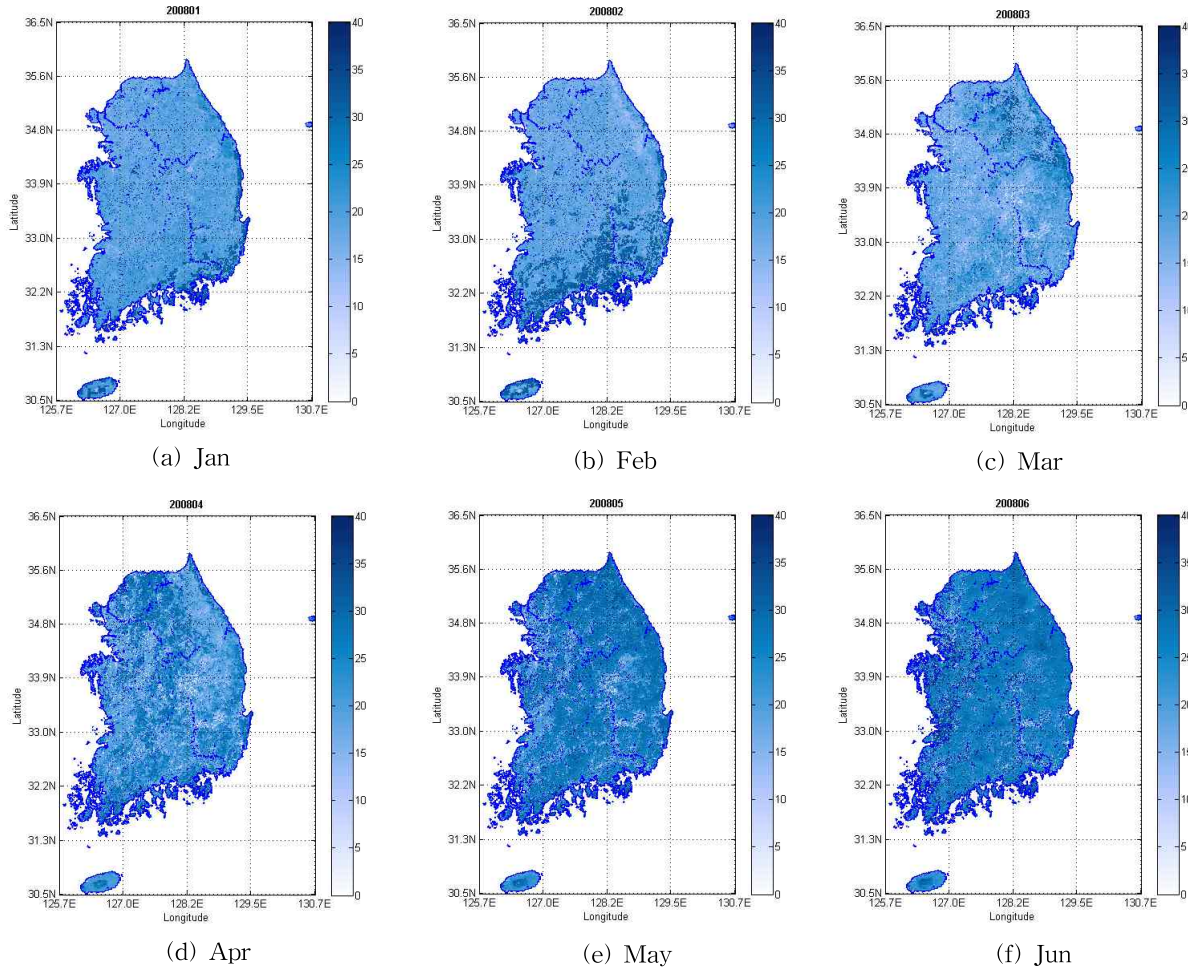


Fig. 10. The Average of Soil Moisture of Korea in 2008



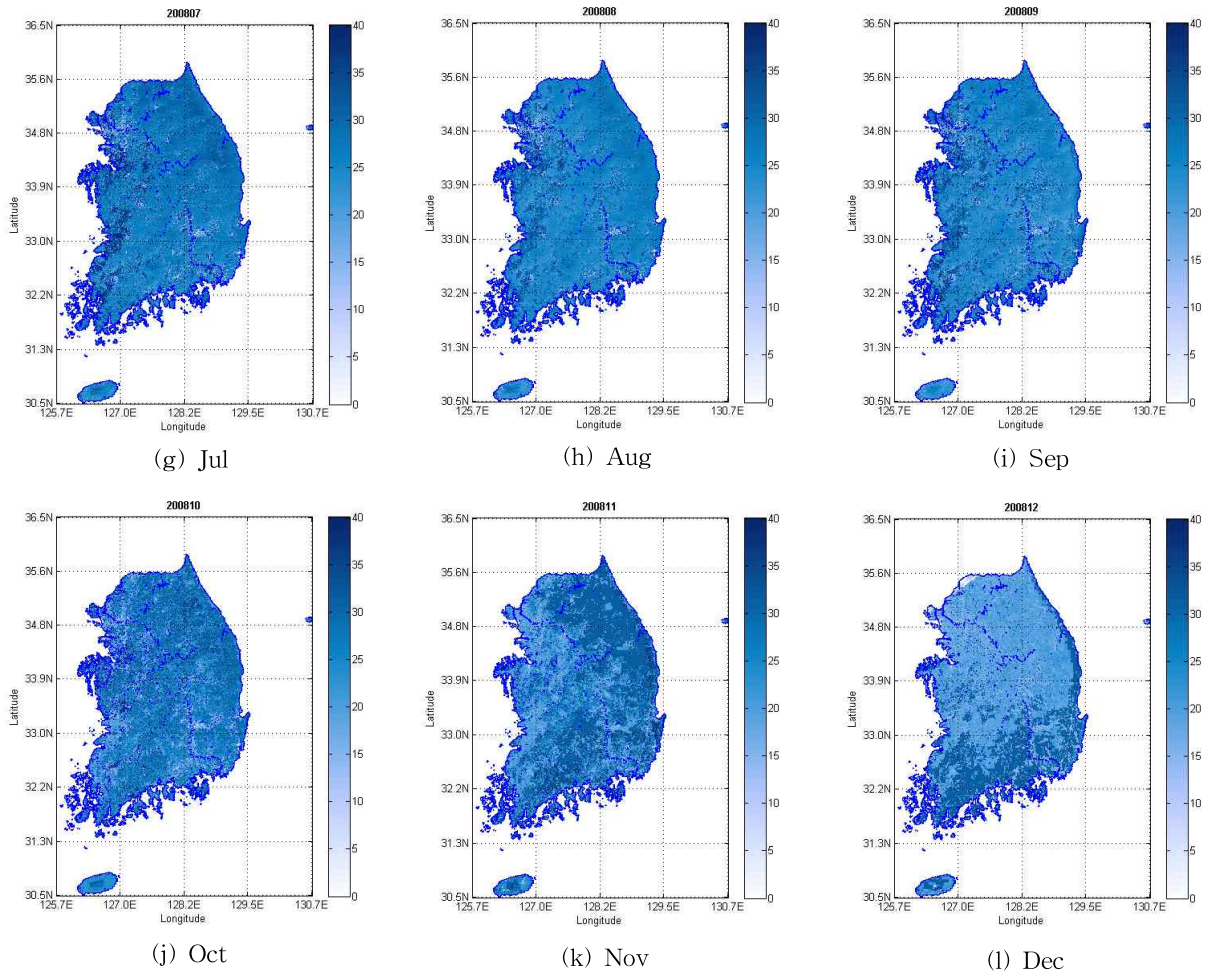


Fig. 11. The Distribution of Soil Moisture of Korea in 2008

나인 CART기법을 활용하여 2차원 토양수분자료를 추정하는 방법론을 제시하였다.

2차원 토양수분 추정과 산정식의 적용성을 검토하기 위하여 2001년에 정량적인 수문조사와 분석을 목적으로 용담댐 수자원 시험유역에 대하여 관측된 토양수분 자료와 대상유역의 보조자료를 이용하였다. 대상 유역의 3개 지점(부귀, 상전, 천천2) 토양수분자료에 적용한 결과 5개의 최적 산정식을 생성하였으며, 생성한 산정식을 이용한 토양수분 추정치와 토양수분 관측치의 상관성을 분석한 결과, 4개의 지점이 약 0.737의 상관계수를 보였다. 이는 생성된 토양수분으로 적절한 추정이 가능하다고 볼 수 있으나, 관측지점이 대부분 비슷한 종류의 토양과 토지피복을 가지고 있어 범주형 변수에 따른 변화보다는 강수량과 같은 연속형 변수에 따른 변화양상을 보였다. 또한 CART기법을 이용한 토양수분 추정모형을 용담댐 유역에 적용하여 월별 토양수분 분포의 추정 가능성을 검토하였다. 그 결과 월별 토양수분은 식생분포, 토지피복 등 유역 특성과 강수분포의 상관성을 반영하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 용담댐 유역에 이용된 여러 자료는 한정

된 범위를 반영하고 있어 용담댐 유역에 대한 토양수분 추정은 보다 타당한 결과를 보여준에도 불구하고 적용범위를 우리나라 전역으로 넓혔을 경우에는 전체적인 조건을 만족하기에는 한계가 있다. 이런 문제를 해결하고 CART기법과 보조자료를 이용한 우리나라 전역의 토양수분 추정치의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 많은 토지피복, 식생 등의 조건에 대한 신뢰성 높은 지상토양수분 관측과 원격관측기술의 발달에 따른 항공원격탐사 등에 기초한 기초자료의 확보가 절실하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원 (07국토정보 C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

김광섭 (2006). "PSR C-band 및 ESTAR L-band 측정치

를 사용한 다중 채널 원격측정 토양수분 자료의 변화도 비교.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제4B호, pp. 329-334.

김광섭, 이을래 (2004). “신경망기법과 보조자료를 사용한 원격측정 토양수분자료의 Downscaling기법 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제1호, pp. 21-29.

박은주, 황철수, 성정창 (2002). “위성영상의 토양수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄 민감도 분석.” **한국GIS학회지**, 한국GIS학회, 제10권, 제3호, pp. 481-492.

유철상 (1998) “토양수분 분산도의 시간-공간적 변화에 대한 강우의 영향.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-1호, pp. 23-30.

이가영, 김기훈, 김상현 (2004). “설마천 유역의 토양수분 장기 모니터링을 통한 토양수분 시공간 변화양상의 특성화.” **2004년 수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 209-214.

조홍래, 정종철 (2006). “강우자료에 대한 공간보간 기법의 적용.” **한국GIS학회지**, 한국GIS학회, 제14권, 제1호, pp. 29-41.

조홍래, 정종철 (2007). “공간보간기법을 이용한 환경자료의 지도화.” **2007 공동춘계 학술대회논문집**, 한국GIS학회, pp. 273-279.

한수희, 안재현, 김상단 (2009). “토양수분의 추계학적 거동과 기후변화가 미치는 영향.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제6호, pp. 433-443.

황태하, 김병식, 김형수, 서병하 (2006). “SWAT 모형을 이용한 토양수분지수 산정과 가뭄감시.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제4B호, pp. 345-354.

Breiman, L. (1996). “Bagging Predictors.” *Machine Learning*, Vol. 24, No.2, pp. 123-140.

Brieman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J. (1984). *Classification and Regression Trees*. New York, Chapman & Hall.

Kim, G., and Barros, A.P. (2002). “Downscaling of remotely sensed soil moisture with a modified fractal interpolation method using contraction mapping and ancillary data.” *Remote Sensing of Environments*, Vol. 83, No. 3, pp. 400-413.

Mahmood, R., and Hubbard, K.G. (2004). “An analysis of simulated long-term soil moisture data for three land uses under contrasting hydroclimatic conditions in the Northern Great Plains.” *Journal of Hydro-meteorology*, Vol. 5, pp. 160-179.

Njoku, E.G., and Entekhabi, D. (1996). “Passive microwave remote sensing of soil moisture.” *Journal of Hydrology*, Vol. 184, pp. 101-129.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1974). “Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.” *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, NASA, Greenbelt, MD, Vol. 1, pp. 301-317.

Yoo, C., and Kim, S. (2004). “EOF analysis of surface soil moisture field variability.” *Advances in Water Resources*, Vol. 27, pp. 831-842.

논문번호: 10-011	접수: 2010.02.02
수정일자: 2010.05.04/06.01	심사완료: 2010.06.01