

다중 스케일 지구통계학을 이용한 원격탐사 자료 기반 주제도의 다운스케일링

박 노 옥[†]

인하대학교 지리정보공학과

Downscaling of Thematic Maps Based on Remote Sensing Data using Multi-scale Geostatistics

No-Wook Park[†]

Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : It is necessary to develop an integration model which can account for various data acquired at different measurement scales in environmental thematic mapping with high-resolution ground survey data and relatively low-resolution remote sensing data. This paper presents and applies a multi-scale geostatistical methodology for downscaling of thematic maps generated from low-resolution remote sensing data. This methodology extends a traditional ordinary kriging system to a block kriging system which can account for both ground data and remote sensing data which can be regarded as point and block data, respectively. In addition, stochastic simulation based on block kriging is also applied to describe spatial uncertainty attached to the downscaling. Two downscaling experiments including SRTM DEM and MODIS Leaf Area Index (LAI) products were carried out to illustrate the applicability of the geostatistical methodology. Through the experiments, multi-scale geostatistics based on block kriging successfully generated relatively high-resolution thematic maps with reliable accuracy. Especially, it is expected that multiple realizations generated from simulation would be effectively used as input data for investigating the effects of uncertain input data on GIS model outputs.

Key Words : Downscaling, Geostatistics, Simulation, Thematic map.

요약 : 높은 공간 해상도의 지상 자료와 상대적으로 저해상도인 원격탐사 자료의 통합을 통한 지표 환경 주제도 작성에서는 이러한 해상도의 차이를 반영한 통합 방법론이 필요하다. 이 연구에서는 상대적으로 저해상도인 원격탐사 자료와 지상 자료로부터 고해상도 주제도 작성과 관련된 다운스케일링을 위한 다중 스케일 지구통계학적 방법론을 적용하였다. 기존 정규 크리깅 시스템을 확장하여 포인트 자료로 간주할 수 있는 지상 자료와 블럭 자료로 간주할 수 있는 원격탐사 자료를 크리깅 시스템에 직접 포함하는 블럭 크리깅 방법론을 이용하였다. 부가적으로 다운스케일링에 따른 불확실성을 묘사하기 위해 블럭 크리깅 기반 시뮬레이션 기법도 함께 이용하였다. SRTM DEM과 MODIS 엽면적 지수 자료의 다운스케일링 실험 연구를 통해 적용 기법의 적용성을 평가하였다. 두가지 실험 연구 결과, 적용 기법을 통해 효과적으로 상대적으로 고해상도 주

접수일(2010년 1월 14일), 수정일(1차 : 2010년 2월 25일), 게재확정일(2010년 2월 25일).

[†] 교신저자: 박노옥(nwpark@inha.ac.kr)

제도 생성이 가능함을 확인하였으며, 특히 다중 시뮬레이션 결과는 다운 스케일링된 자료를 입력 자료로 사용하는 GIS 모델에 사용하여 모델 결과의 불확실성 분석에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

지표환경 주제도 제작과 관련하여 원격탐사 자료를 이용하는 경우는 주로 파라미터 추출 관련 모델링/역산 기술의 개발에 치중해 왔다. 이 경우 지상 자료는 파라미터 추출 결과의 정확도 검증이나, 모델링 과정에서의 선형/비선형 회귀분석과 같은 비공간 통계모델의 적용을 통한 원격탐사 자료의 보정에 주로 이용되어 왔다(박노옥, 장동호, 2009). 이 과정에서 상대적으로 높은 정밀도를 나타내는 지상 자료의 공간적 자기 상관 정보는 반영되지 못한 한계가 있었다.

이러한 배경에서 높은 정밀도를 나타내지만 제한된 소수의 지점에서만 자료의 획득이 가능한 현장 조사 자료와 전역적으로 자료 획득이 가능한 원격탐사 자료와 같은 부가 자료의 통합적 활용은 개별 자료만을 이용하였을 때에 비해 향상된 정확도를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다(Goovaerts, 2000; Zhang *et al.*, 2009). 이러한 통합 연구에는 공간 자료의 상관성을 고려할 수 있으면서 유효한 통합 방법론을 제공할 수 있는 지구통계학이 많이 활용되어 왔으며, 지질, 지리, 수문, 지반, 산림, 토양 등 다양한 분야에서의 적용 연구를 통해 유효성이 증명되어 왔다(박노옥, 장동호, 2008; 오석훈, 서백수, 2007; Park *et al.*, 2009; Patriarche *et al.*, 2005; Sales *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2006). 이러한 지구통계학적 통합 분석은 국내에서 단일 변수의 고급 내삽 기법으로 제한적으로 이용되고 있는 지구통계학적 크리깅의 활용 범주를 넓힌 분야로 간주될 수 있다.

지상 자료와 원격탐사 자료와 같은 부가 자료의 지구통계학적 통합 분석에서 기존 연구에서 간과되어와서 고려되어야 할 사항은 통합의 대상인 자료들의 공간적 스케일이 다르다는 점이다. 지상 자료는 지상에서의 특정 영역을 대표하는 값을 나타낸다고 가정하더라도 고해상도의 정보를 제공하고, 부가 자료는 상대적으로 저해상도 정보를 제공하는 ब्ल록 자료에 해당한다. 기존 다변량 지구통계학적 크리깅 기법으로 사용되어온 simple kriging with local means(SKLM)이나 kriging with an external drift(KED) 등은 부가 자료의 공간 해상도

에서 통합 결과가 산출되는 한계가 있었다.

GIS 주제도나 원격탐사 자료를 이용하여 제작된 주제 정보는 단지 주제도 제작의 1차적인 목적에 그치는 것이 아니라, 추가적인 2차 분석을 위한 입력 자료로 이용될 수 있다. 이러한 2차 분석의 경우, 실제 제작된 주제도의 공간 해상도보다 고해상도 혹은 저해상도의 입력 정보를 요구하는 경우가 있다. 저해상도 부가 자료와 고해상도 지상 자료와를 통합하는 경우, 부가 자료의 해상도에 비해 상대적으로 고해상도 주제도를 작성하는 일종의 다운 스케일링(downscaling) 과정이 분석에 반영되어야 한다. 즉 서로 해상도가 다르더라도 목표 파라미터에 대한 정보에 대한 상호보완적인 정보를 제공하는 개별 자료의 특성을 최대한 반영할 수 있는 방법론이 지구통계학적 모델에 포함되어야 한다. 이러한 다운 스케일링의 경우, 고해상도 격자 위치에서 다양한 경우의 수가 존재하는 under-determined 역산 과정으로 간주할 수 있으며, 결정론적인 단일 주제도의 제시가 아닌 실현 가능한 다양한 주제도의 제시를 통해 역산 과정의 불확실성을 함께 제시해줄 필요가 있다.

이러한 서로 다른 스케일을 가진 공간 자료의 지구통계학적 통합은 주로 지질학 분야에서 연구되어 왔다. Yao and Journel(2000)은 상대적 저해상도인 탄성파 탐사 자료를 ब्ल록 자료로 간주하여 시추 자료와 공동 크리깅과 순차적 시뮬레이션을 이용하여 통합하였으며, Liu(2007)은 ब्ल록 자료와의 통합을 위한 크리깅과 시뮬레이션 모델을 제시하여 토모그래피 자료에 적용하였다. 그러나, 이러한 포인트 지상 자료와 ब्ल록 자료로 간주할 수 있는 원격탐사 자료 기반 주제도의 통합을 위한 다중 스케일 지구통계학 모델의 적용은 시도된바 없다.

이 연구에서는 서로 다른 스케일의 지상 자료와 원격탐사 자료 기반 주제도의 통합을 위한 다중 스케일 지구통계학 모델을 소개하고, 다운스케일링 사례 연구를 통한 적용 가능성에 대해 예시하고자 한다. 우선 다중 스케일 지구통계학 모델로 포인트 및 ब्ल록 자료의 통합 크리깅 기법에 대해 소개하고, 다운 스케일링에 따른 다중해의 존재에 의한 불확실성 모델링을 위한 시뮬레이션 기법을 제안하였다. 그리고 이러한 다중 스케일 지구통

계학적 분석 방법의 적용 가능성의 예시를 위해, 2가지 다운 스케일링 사례 연구를 수행하였다. 첫번째로는 90m 공간 해상도의 SRTM(Shuttle Radar Topographic Mission) 자료와 현장 관측 자료로 간주할 수 있는 고도 기준점 자료(spot heights)를 이용한 고해상도 고도 자료 생성 실험을 수행하였다. 두번째로는 1km 공간 해상도의 MODIS 엽면적 지수(Leaf Area Index: LAI) 자료와 주요 수종에서 획득된 지상 엽면적 지수 자료의 통합을 통한 100m 해상도의 엽면적 지수 분포도 작성 실험을 수행하였다.

2. 다중 스케일 지구통계학 방법론

서로 다른 스케일의 자료의 통합을 위해서는 포인트 자료와 블록 자료가 동시에 지구통계학적 분석 모델에 포함되어야 한다. Liu(2007)은 단순 크리깅(simple kriging)에 기반을 둔 다중 스케일 크리깅 모델을 제시하였으나, 단순 크리깅의 기본 가정인 연구지역 전반에 걸쳐 지역 평균이 일정하다는 것은 실제 자료에 맞지 않은 경우가 많다. 그래서 이 연구에서는 탐색 변경 내에서는 지역 평균이 일정하며, 연구 지역에 따라서는 변할 수 있다는 다소 유연한 가정을 적용하는 정규 크리깅(ordinary kriging) 기반의 다중 스케일 크리깅 모델로 확장하여 제시하였다.

블록 자료는 블록내 포인트 자료의 선형 결합이라는 조건하에(Goovaerts, 1997; Liu, 2007), 포인트 자료(P)와 블록 자료(B)를 모두 포함하는 자료 구성을 $D^t = [P \ B]$ 라고 할 때, 샘플링 되지 않은 미지의 위치 u 에서의 정규 크리깅 예측치 $z_{OK}^*(u)$ 는 다음과 같이 주변 관측값의 선형 가중 합으로 표현될 수 있다.

$$z_{OK}^*(u) = \Lambda^t \cdot D = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) \cdot D(u_{\alpha}) \quad (1)$$

여기서 u_{α} 와 $n(u)$ 는 샘플링 포인트 자료의 위치와 탐색 창 내의 자료 개수를 각각 나타내며, $\lambda_{\alpha}(u)$ 는 추정 위치에서의 크리깅 가중치를 나타낸다. 포인트 자료만을 사용하는 정규 크리깅과 달리 크리깅 가중치 $\Lambda^t = [\lambda_p \ \lambda_B]$ 는 포인트 자료에 대한 가중치 λ_p 와 블록 자료에 대한 가중치 λ_B 로 나뉘어져 구성된다.

크리깅 가중치 Λ 는 다음 정규 크리깅 방정식을 통해

얻어진다.

$$\begin{bmatrix} [K] & [1]^t \\ [1] & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\Lambda] \\ [\mu] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [k] \\ 0 \end{bmatrix} \text{ with } K = \begin{pmatrix} C_{PP} & \bar{C}_{PB} \\ \bar{C}_{PB}^t & \bar{C}_{BB} \end{pmatrix}, k = \begin{pmatrix} C_{PP_0} \\ \bar{C}_{BP_0} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 K 와 k 는 샘플 자료간 공분산 행렬과 샘플 자료와 추정 위치 사이의 공분산 행렬을 각각 나타낸다. 그리고, C 와 \bar{C} 는 포인트 공분산 부분 행렬과 블록 자료를 포함하는 공분산 부분 행렬을 각각 나타내며, P_0 와 μ 는 추정 위치와 라그랑지안 파라미터를 각각 나타낸다.

식 (2)에서 살펴본 바와 같이, 크리깅 시스템에서 4종류의 공분산의 계산이 필요하다. 샘플 포인트 자료 사이의 공분산인 C_{PP} 는 베리오그램 모델로부터 계산이 쉽게 되는데, 나머지 블록 자료를 포함하는 블록 평균 공분산들은 블록을 이산화한 블록내 포인트의 공분산의 평균으로 계산하거나(Goovaerts, 1997), fast Fourier transform(FFT)로부터 계산하는 방식이 있는데(Remy *et al.*, 2009), 이 연구에서는 블록내 이산화된 포인트의 공분산으로부터 평균을 구하는 방식으로 블록 평균 공분산을 계산하였다.

제시된 다중 스케일 크리깅에 의해 다운스케일링된 결과값은 단일값으로 제시된다. 그러나 앞에서 논의한 바와 같이, 다운 스케일링은 일종의 역산 과정으로 간주할 수 있기 때문에 고해상도 격자에서 다양한 값을 가질 수 있다. 이에 이 연구에서는 이러한 다운 스케일링 과정의 불확실성을 표현하기 위해 다중 스케일 기반 순차적 시뮬레이션을 함께 적용하였다. 지구통계학적 시뮬레이션은 최소 자승의 원칙하에 개별 위치에서 최적의 값을 제시하는 크리깅과는 달리, 추계론적 방법론인 몬테카를로 기법을 적용하여 개별 위치에서 주어진 자료에 기반을 둔 상태에서 나올 수 있는 다양한 값들을 결과값으로 제시한다(Goovaerts, 1997). 이 과정에서 개별 위치에서의 최적의 값을 제시하는 것이 목표가 아니라, 다양한 값들의 분포를 제시할 때 주어진 자료의 통계치나 공간적 구조를 재생산하는 특징이 있다. 다량의 시뮬레이션 결과는 확률적으로 등가(equi-probable)인 다른 결과를 나타내므로, 예측 결과들의 차이를 이용하여 공간적 불확실성 분포를 추정할 수 있다. 이러한 공간적 불확실성 분포는 다운스케일링을 일종의 역산 과정으로 간주할 때, 중요한 해석 보조 정보로 사용할 수 있다. 이 연구에서는 블록 순차적 시뮬레이션 방법을 적

용하였는데, 이 방법은 블록 크리깅 결과와 순차적 시뮬레이션을 결합하는 방식에 해당된다.

3. 실험 결과

다중 스케일 지구통계학적 분석 방법론의 적용성 평가를 위해 2가지 실제 자료에 대한 다운 스케일링 실험을 수행하였다. 첫번째 실험은 고도 자료의 다운 스케일링을 목적으로, 포인트 자료로 수치 지형도로부터 추출한 고도 기준점 자료를 이용하였으며, 블록 자료로는 90m 공간 해상도의 SRTM 고도 자료를 이용하였다. 두번째 실험은 엽면적 지수의 다운 스케일링을 목적으로, 포인트 자료로 현장에서 관측한 엽면적 지수 자료를, 블록 자료로는 1km 공간 해상도의 MODIS 엽면적 지수

자료를 이용하였다.

1) 고해상도 고도 자료 생성 실험

이 실험 대상 지역은 충청북도 보은 일부 지역으로, 포인트 자료는 1:25,000 축척의 수치 지형도로부터 추출된 삼각점, 수준점, 기준점들로부터 추출하였으며 자료 개수는 총 39개이다(Fig. 1(a)). 블록 자료로 사용된 SRTM 고도 자료는 2000년 2월에 발사된 우주왕복선 엔데버호에 장착된 2개의 SAR 안테나로부터 획득된 자료를 이용하여 제작된 것으로, 공간 해상도는 90미터이다(Fig. 1(b)). 다중 스케일 크리깅을 수행하기 이전에, 우선 39개 지상 고도 기준점 자료의 베리오그램을 계산하고 모델링하였으며, 계산된 베리오그램 모델은 다중 스케일 크리깅의 입력 변수로 사용되었다. 다운 스케일링의 목표 공간 해상도는 실험적으로 15미터로 설정하

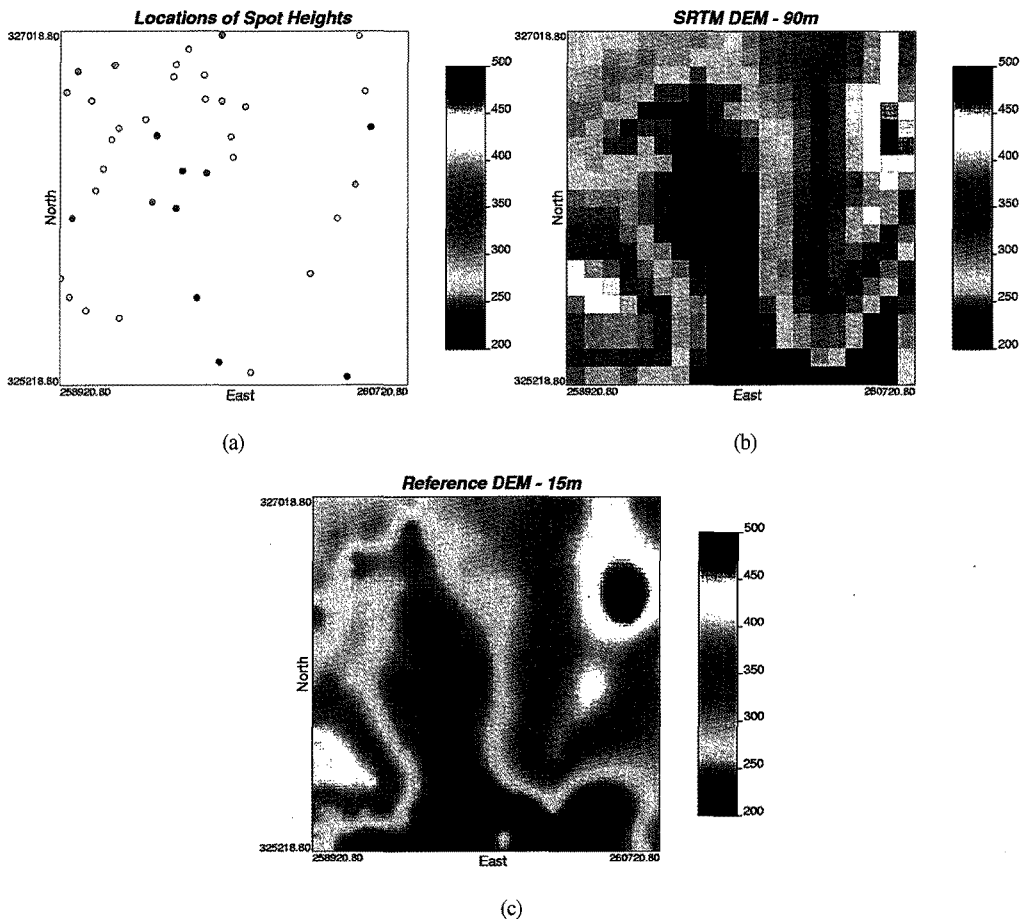


Fig. 1. (a) Spot heights data used as point data, (b) SRTM DEM used as block data (90m), (c) reference DEM (15m).

였으며, 블럭 공분산 계산을 위해 90미터의 개별 블럭은 36개(6*6)의 포인트로 구성되도록 이산화시켰다. 다운스케일링된 고도 자료의 정확도 평가를 위해 수치지형도의 등고선과 고도 기준점 자료를 불규칙 삼각망 기법을 이용하여 15m 공간해상도로 내삽하여 참조 고도

자료를 제작하였다.

Fig. 2는 다중 스케일 크리깅에 의해 생성된 고도 자료인데, Fig. 1의 포인트 자료와 SRTM DEM의 양상을 모두 포함하고 있는 것으로 나타났다. 블럭 자료는 포인트 자료의 선형 결합이라는 조건을 이용하였기 때문에,

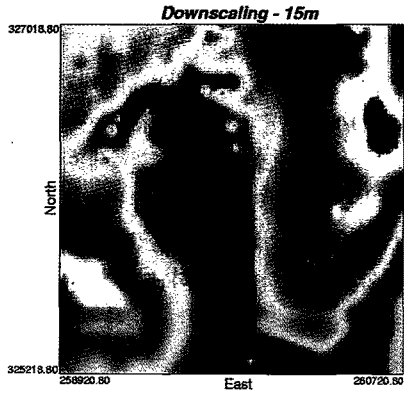


Fig. 2. Downscaled DEM generated by multi-scale kriging.

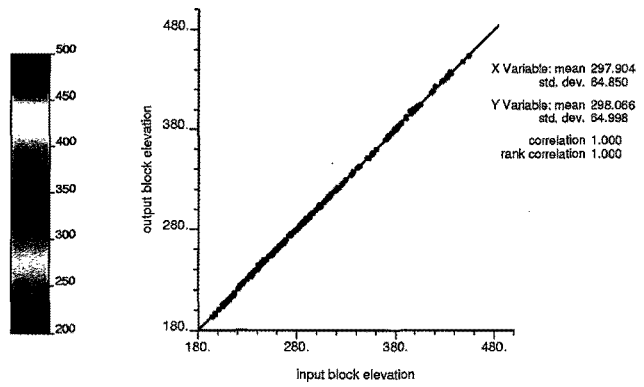


Fig. 3. Comparison of input and output block elevation values.

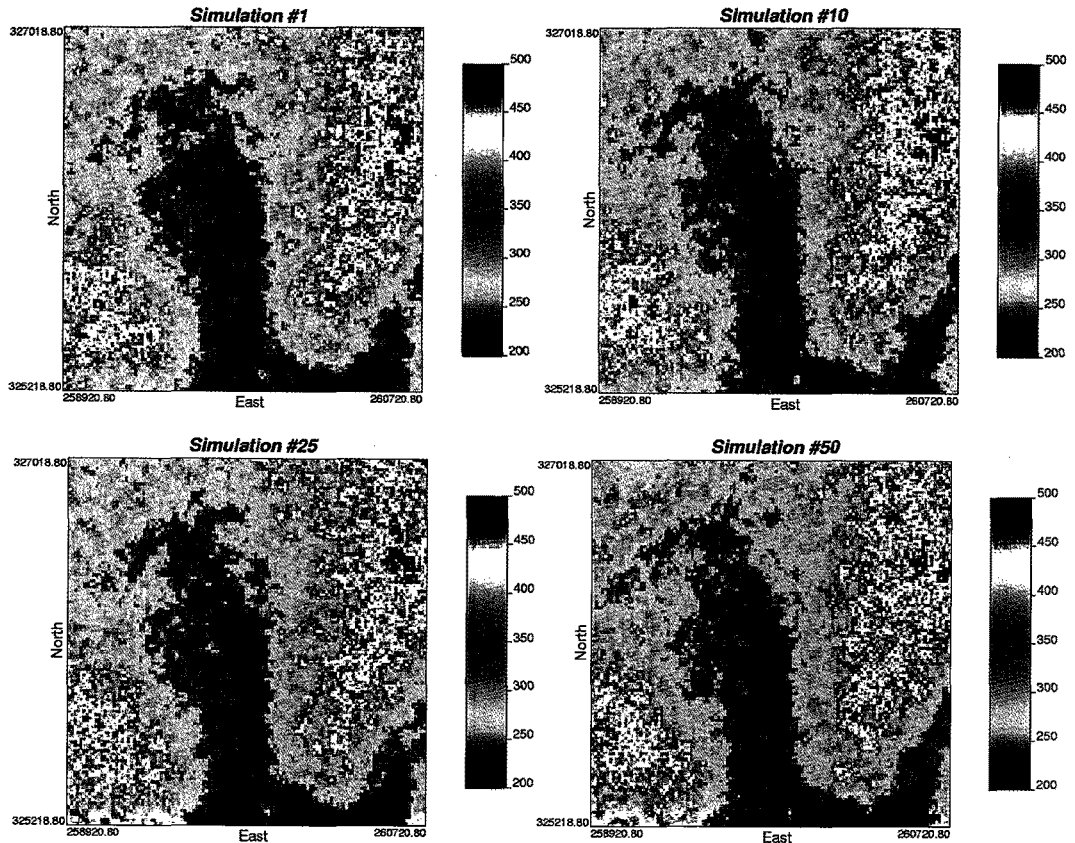


Fig. 4. Some elevation simulation results.

다운 스케일링된 자료를 원 블록 자료의 스케일로 업스케일링(upscale)하였을 경우에는, 원 블록 자료를 유사하게 재생산해야 한다. 이러한 성질을 살펴보기 위해 15m의 다운 스케일링된 고도 자료를 원 SRTM DEM의 해상도인 90m로 업스케일링된 고도 자료를 계산한 후에, 다중 스케일 크리깅에 사용된 SRTM DEM의 고도 자료와 비교 분석을 하였다(Fig. 3). 비교 결과를 살펴보면, 완전하게 블록 자료를 재생산하고 있음을 확인할 수 있으며, 평균 오차와 절대 평균 오차는 0.29와 0.57로 상당히 낮게 나타났다.

다운 스케일링된 고도 자료의 정확도를 살펴보기 위해 Fig. 1(c)의 참조 고도 자료와 픽셀 단위의 일대일 비교를 수행하였다. 그 결과 평균 오차는 -4.5m, 평균 절대 오차는 26.85m로 나타나서 전반적으로는 다운 스케일링된 결과가 실제보다 저추정하고 있지만, 비교적 정확하게 값을 추정하고 있는 것으로 나타났다.

앞에서 논의한 바와 같이, 다중 스케일 크리깅 결과는 일종의 결정론적 관점에서 단일한 값을 제시하지만 다운 스케일링의 경우 다양한 솔루션이 존재할 수 있다. 이를 모사하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험적으로 50번의 시뮬레이션 결과를 생성하였다. Fig. 4는 50번의 시뮬레이션 결과 중 일부를 나타내고 있다. Fig. 2의 다중 스케일 크리깅 결과는 크리깅의 특성상 공간적으로 평활화 효과가 두드러지게 나타나지만, 시뮬레이션 결과들은 공간적 평활화 효과가 약해지면서 공간적 변이성이 잘 반영된 양상을 보이고 있다.

50개 시뮬레이션 결과들로부터 다양한 공간적 불확실성 모델링이 가능한데, 이 연구에서는 개별 픽셀에서의 50개 시뮬레이션의 사분위수 범위(IQR) 및 표준 편차를 계산하여 추가적인 해석 정보로 사용하였다(Fig. 5). 사분위수 범위와 표준 편차는 개별 픽셀 위치에서의 값의 변화 양상을 정량적으로 표현해 주고 있기 때문에, 공간적 불확실성의 모델링 척도로 이용될 수 있다. 사분위수 범위와 표준 편차를 살펴보면, 연구 지역의 우하단과 좌측 영역에서 상대적으로 높은 값을 나타내고 있는데, 이 지역은 50개의 시뮬레이션에서 값의 차이가 두드러지게 나타나는 지역으로 다운 스케일링에 따른 불확실성이 상대적으로 큰 지역을 나타낸다. 반면 값이 작게 나타난 지역들은 확률적으로 등가인 50개의 시뮬레이션에서의 값이 서로 유사하게 나타난 지역으로 예측에 따른 불확실성이 상대적으로 작은 지역에 해당된다. 이러한 양상은 다중 스케일 크리깅 결과만으로는 나타낼 수 없는 정보로, 크리깅에 대한 상대적인 시뮬레이션 분석의 장점을 지시한다.

2) 고해상도 엽면적 지수도 생성 실험

두번째 실험 대상 지역은 경기도 광주, 남양주, 양평군 일대 산림지역이며, 포인트 자료로 김태근(2008)에 의해 2003년 9월 15일부터 17일까지 LAI-2000 Plant Canopy Analyzer 광학기기를 이용하여 최소거리 200m 간격으로 획득된 13개 지점의 현장 엽면적 지수 자료를 이용하였다(Fig. 6(a)). 블록 자료로는 2003년 9

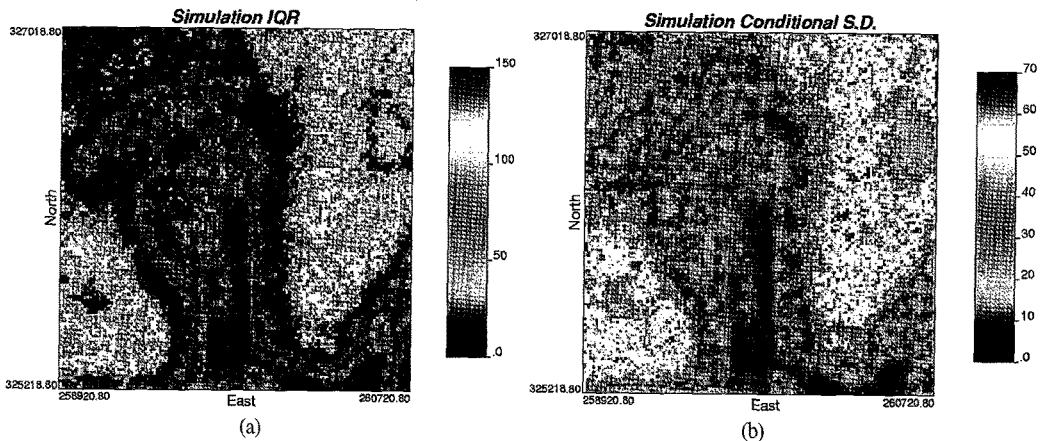


Fig. 5. (a) IQR, (b) standard deviation computed from 50 elevation simulation results.

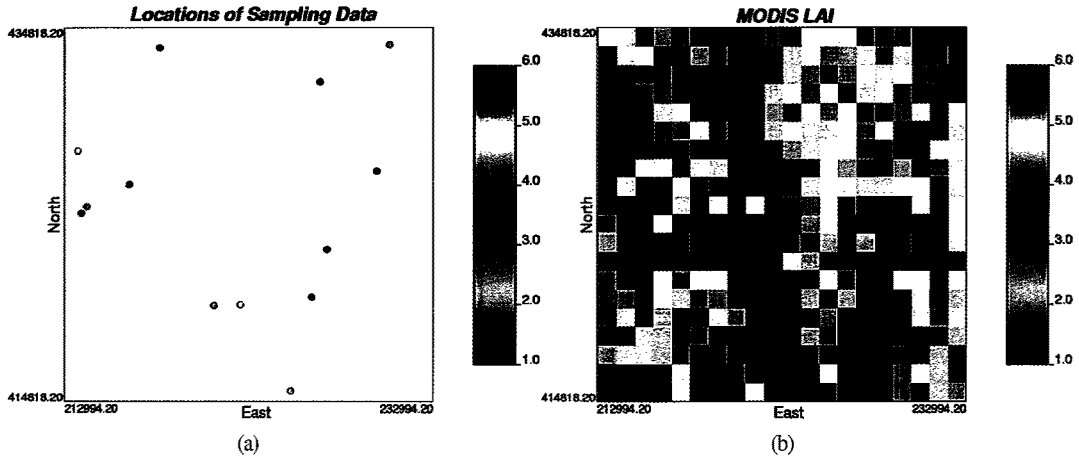


Fig. 6. (a) Ground LAI observation data as point data, (b) MODIS LAI product (1km).

월 23일에 촬영된 1km 공간 해상도의 MODIS 엽면적 지수 자료를 이용하였다(Fig. 6(b)).

앞의 실험과 마찬가지로, 다중 스케일 크리깅을 수행하기 이전에 현장 엽면적 지수 자료의 베리오그램을 계산하고 모델링하였으며, 계산된 베리오그램 모델은 다중 스케일 크리깅의 입력 변수로 사용되었다. 다운 스케일링의 목표 공간 해상도는 샘플링 간격을 고려하여 200m 설정하였으며, 블록 공분산 계산을 위해 1km미터의 개별 블록은 25개(5*5)의 포인트로 구성되도록 이산화시켰다.

Fig. 7은 다중 스케일 크리깅에 의해 생성된 엽면적 지수 자료인데, 고도 자료의 다운 스케일링과 다르게 MODIS 자료의 패턴을 완전히 반영하지 못하고 있다. 업스케일링 자료를 바탕으로 원 블록 자료의 값을 재생

산하는 여부를 살펴보면(Fig. 8), 과추정하는 양상과 저추정하는 양상이 대별되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 양상은 MODIS 엽면적 지수의 계산 결과에 따른 것으로 판단된다. 기존 연구에 의하면, MODIS 엽면적 지수는 농경 지역은 저추정, 산림 지역은 과추정하는 것으로 보고되었는데(김선화, 2003; 김태근, 2008), 연구 지역에 분포하는 농경 지역과 산림 지역의 양상이 반영되어 원 블록 자료와 결과 블록 자료의 값이 재생산되지 못하고, 과추정 및 저추정 양상이 혼재되는 것으로 나타났다. 현장 조사 자료와 그 위치에서의 MODIS 엽면적 지수 자료의 값을 비교하면, 평균 절대 오차가 1.99로 나타났다는데, 최종적으로 Fig. 7의 다운스케일링된 결과는 현장 조사 자료에서는 이러한 오차가 보정되어 현장 조사 자료의 영향이 반영되고, 현장 조사 자료가 위치하지

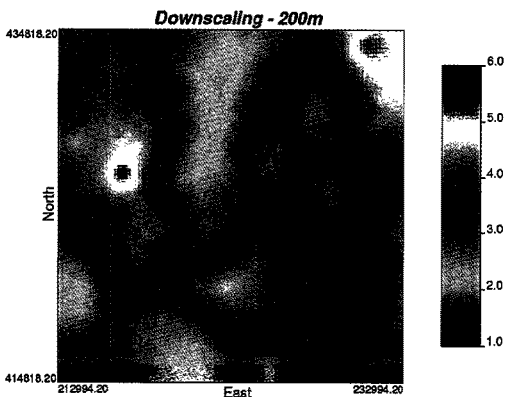


Fig. 7. Downscaled LAI generated by multi-scale kriging.

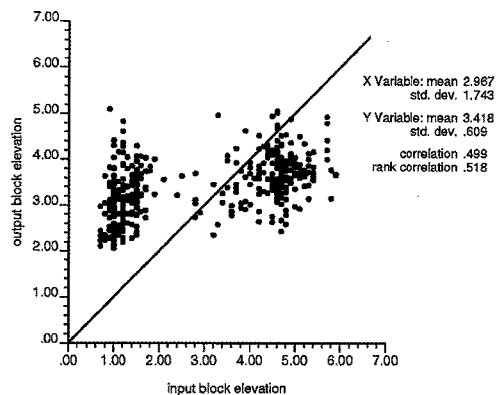


Fig. 8. Comparison of input and output block LAI values.

않은 지역에서는 MODIS 엽면적 지수 자료의 패턴이 종합적으로 혼재된 것을 포함한다. 이러한 양상을 첫번째 실험 결과와 비교하면, 첫번째 고도 실험에서는 SRTM DEM이 현장 기준점 자료와 오차가 아주 크지

않은 상태에서 블럭 자료의 양상이 제대로 반영될 수 있으며, 다운 스케일링된 결과를 블럭 자료의 스케일로 업 스케일링하더라도 그 값을 정확하게 재생산할 수 있었다. 반면, 두 번째 실험에서는 블럭 자료가 상당한 오차

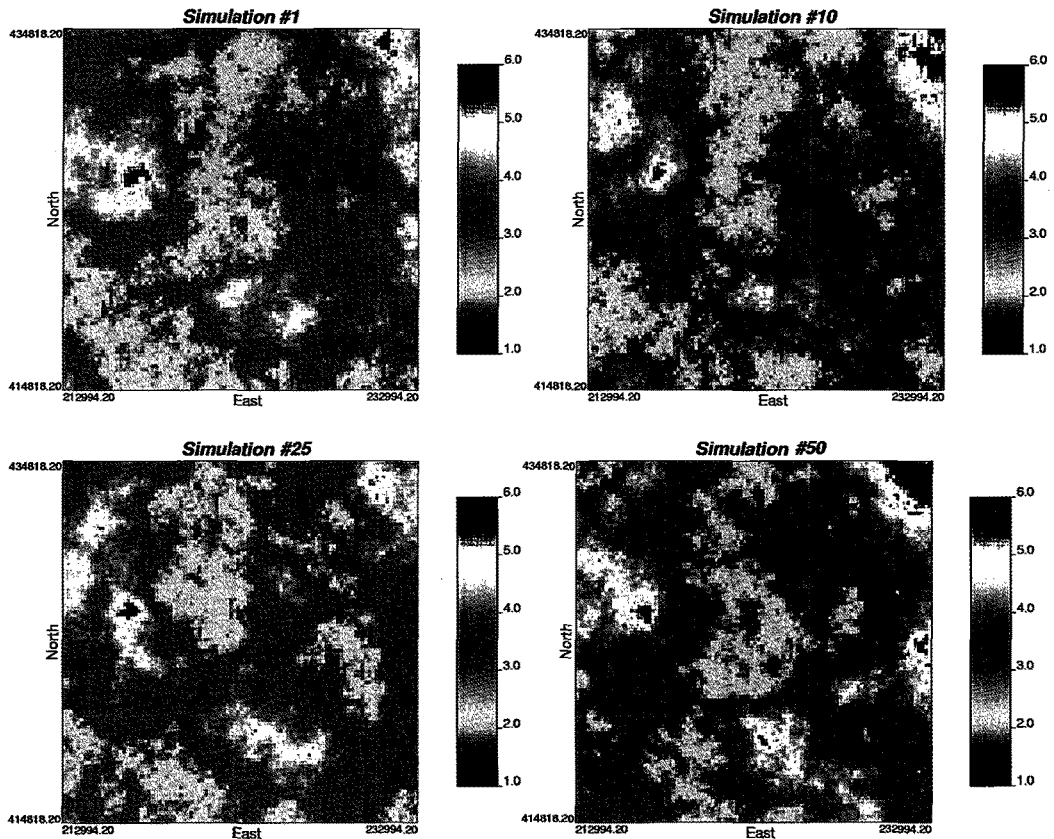


Fig. 9. Some LAI simulation results.

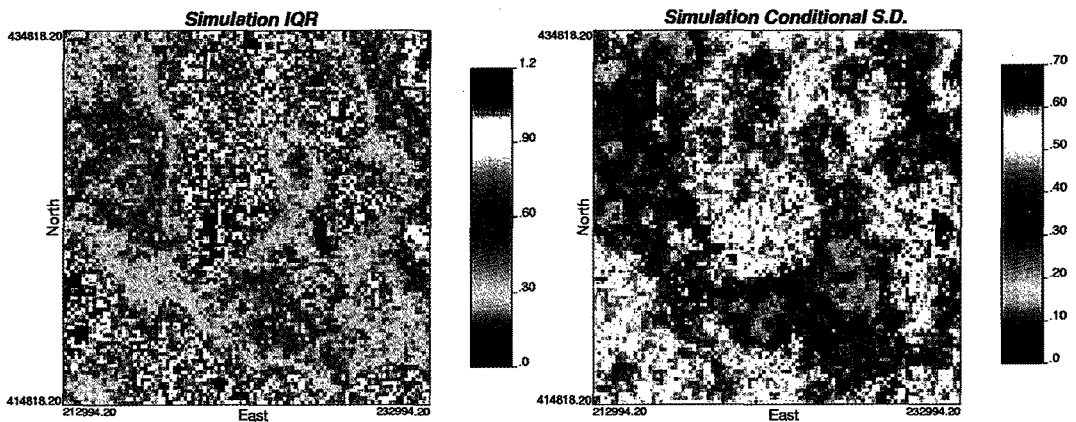


Fig. 10. (a) IQR, (b) standard deviation computed from 50 LAI simulation results.

를 포함하고 있기 때문에, 블럭 자료를 재생산 할 수 없으며 최종 다운 스케일링된 결과는 블럭 자료의 오차를 현장 조사 자료에 의해 보정된 양상으로 간주할 수 있다.

첫번째 실험과 마찬가지로 다중 스케일 기반 시뮬레이션을 적용하여 50개의 시뮬레이션 결과를 생성하였으며(Fig. 9), 이로부터 역시 사분위수 범위와 표준 편차를 계산하였다(Fig. 10). Fig. 9를 통해 Fig. 7에 비해 상대적으로 평활화 효과가 감소된 공간적 변이도를 나타내는 다운스케일링된 엽면적 지수도의 생성이 가능하였으며, Fig. 10을 통해 연구 지역의 우하단과 중앙 및 상단 지역에서 불확실성이 큼을 확인할 수 있다. 이러한 지역은 MODIS 토지피복도와 비교하였을 때, 주로 농경지에 위치한 지역으로, 현지 조사가 산림 지역에서 이루어졌기 때문에 이 지역에서는 현장 조사의 결과가 반영되지 못하여 시뮬레이션별로 다양한 값이 나타남으로써 불확실성이 크게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결론

원격탐사 자료를 포함한 공간 자료 분석에서 해상도에 따른 정보의 양과 질의 차이는 분석 모델에 충분히 반영되어야 한다. 지구통계학적 자료 통합에서 자료 통합이 상대적으로 저해상도인 자료의 해상도에서 수행되는 한계점을 극복하고자, 이 연구에서는 일종의 다운스케일링을 위한 다중 스케일 지구통계학적 방법을 적용하였다. 적용 방법론은 저해상도 블럭 자료를 포인트 자료로 간주할 수 있는 지상 자료와의 통합 과정에서 직접적으로 공분산 함수 계산 및 가중치를 결정함으로써 고해상도의 통합 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 저해상도 SRTM DEM과 MODIS 엽면적 지수 자료를 지상 자료와 통합하는 두가지 실험 연구를 통해, 상대적으로 고해상도의 주제도 생성이 가능함을 확인할 수 있었으며, 정확도 검증이 가능한 고도 자료 생성 실험에서 신뢰할만한 수준의 다운스케일링된 고도 자료 생성이 가능하였다. 또한 이러한 결정론적 관점의 주제도 생성과 더불어, 일종의 역산 과정으로 이해할 수 있는 다운스케일링 과정에서의 불확실성을 묘사하기 위해 추계론적 시뮬레이션을 부가적으로 적용하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어지는 확률적으로 등가인 다량의 실현을 통해 공

간적 불확실성의 묘사가 추가적으로 가능하였다. 특히 다운스케일링된 시뮬레이션 결과는 상대적으로 고해상도 주제도를 입력 자료로 이용하는 GIS 모델의 입력 자료로 사용함으로써 입력 주제도의 불확실성의 모델 결과에 대한 영향 분석에 이용될 수 있으며, 추가적으로 위험성 분석 등에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문에서 적용한 다중 스케일 지구통계학적 분석 방법은 현장 조사 자료가 공간적 자기상관성 정보 추출을 위해 필수적으로 이용되어야 한다. 앞으로 현장 조사의 이용이 불가능한 상태에서 저해상도 주제도를 다운스케일링을 수행하는 area-to-point 지구통계학적 방법론(Kyriakidis, 2004)을 원격탐사 기반 주제도 제작을 위해 확장하고 적용 연구를 수행할 계획이다.

사 사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비 지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다. 엽면적 지수 현장 조사 자료를 제공해주신 인하대학교 이규성 교수님과 신정일 박사과정생에게 감사드립니다.

참고문헌

- 김선화, 2003. 한반도 중부 온대림지역에서 MODIS 엽면적지수 검증, 인하대학교 석사학위 논문.
- 김태근, 2008. 남한지역 LAI map 제작을 위한 중·저해상도 위성영상 연계방법 개발, 인하대학교 박사학위 논문.
- 박노옥, 장동호, 2008. 수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성, 대한지리학회지, 43(6): 1002-1015.
- 박노옥, 장동호, 2008. 지표환경 주제도 작성을 위한 크리깅 기법과 원격탐사 자료의 통합 및 불확실성 분석: 입도분포지도 사례연구, 대한지리학회지, 44(3): 395-409.
- 오석훈, 서백수, 2007. 탄성과 속도와 전기비저항 자료의 지구통계학적 복합해석에 의한 암반등급의

- 확률적 평가, 물리탐사, 10(4): 293-298.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press.
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, 228: 113-129.
- Kyriakidis, P. C., 2004. A geostatistical framework for area-to-point spatial interpolation, *Geographical Analysis*, 36(3): 259-289.
- Liu, Y., 2007. *Geostatistical Integration of Coarse-scale Data and Fine-scale Data*, Ph.D. Thesis, Stanford University.
- Park, N.-W., D.-H. Jang, and K.-H. Chi, 2009. Integration of IKONOS imagery for geostatistical mapping of sediment grain size at Baramarae beach, Korea, *International Journal of Remote Sensing*, 30(21): 5703-5724.
- Patriarche, D., M. C. Castro, and P. Goovaerts, 2005. Estimating regional hydraulic conductivity fields - a comparative study of geostatistical methods, *Mathematical Geology*, 37(6): 587-613.
- Remy, N., A. Boucher, and J. Wu, 2009. *Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide*, Cambridge University Press.
- Sales, M. H., C. M. Souza Jr., P. C. Kyriakidis, D. A. Roberts, and E. Vidal, 2007. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: a case study for Rondonia, Brazil, *Ecological Modeling*, 205: 221-230.
- Wu, J., Norvell, W. A., and Welch, R. M., 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon, *Geoderma*, 143: 187-199.
- Yao, T. and A. G. Journel, A. G., 2000. Integrating seismic attribute maps and well logs for porosity modeling in a W. Texas carbonate reservoir: scale and precision problems. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 28: 65-79.
- Zhang, J., Kyriakidis, P. C., and Kelly, R., 2009. Geostatistical approaches to conflation of continental snow data, *International Journal of Remote Sensing*, 30(20): 5441-5451.