

공간보간법 적용을 통한 산림 종다양성지수의 공간적 추정

- 제1차 산림의 건강·활력도 조사 자료를 이용하여 -

이준희¹⁾ · 류지은²⁾ · 최유영¹⁾ · 정혜인¹⁾ · 전성우¹⁾ · 임종환³⁾ · 최형순³⁾

¹⁾ 고려대학교 환경생태공학과 · ²⁾ 고려대학교 환경GIS/RS센터 · ³⁾ 국립산림과학원

Spatial Estimation of Forest Species Diversity Index by Applying Spatial Interpolation Method

- Based on 1st Forest Health Management data-

**Lee, Jun-Hee¹⁾ · Ryu, Ji-Eun²⁾ · Choi, Yu-Young¹⁾ · Chung, Hye-In¹⁾ · Jeon, Seong-Woo¹⁾ ·
Lim, Jong-Hwan³⁾ · Choi, Hyung-Soon³⁾**

¹⁾ Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University,

²⁾ Environmental GIS/RS Center, Korea University,

³⁾ National institute of forest science.

ABSTRACT

The 1st Forest Health Management survey was conducted to examine the health of the forests in Korea. However, in order to understand the health of the forests, which account for 63.7% of the total land area in South Korea, it is necessary to comprehensively spatialize the results of the survey beyond the sampling points. In this regard, out of the sample points of the 1st Forest Health Management survey in Gyeongbuk area, 78 spots were selected. For these spots, the species diversity index was selected from the survey sections, and the spatial interpolation method was applied. Inverse distance weighted (IDW), Ordinary Kriging and Ordinary Cokriging were applied as spatial interpolation methods. Ordinary Cokriging was performed by selecting vegetation indices which are highly correlated with species diversity index as a secondary variable. The vegetation indices - Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), Leaf Area Index (LAI), Sample Ratio (SR) and Soil Adjusted

First author : Lee, Jun-Hee, Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University,
Tel : +82-2-3290-3543, E-mail : leejh9@korea.ac.kr

Corresponding author : Jeon, Seong-Woo, Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University,
Tel : +82-2-3290-3043, E-mail : eepps_korea@korea.ac.kr

Received : 1 April, 2019. **Revised** : 20 August, 2019. **Accepted** : 19 August, 2019.

Vegetation Index(SAVI) - were extracted from Landsat 8 OLI. Verification was performed by the spatial interpolation method with Mean Error(ME) and Root Mean Square Error(RMSE). As a result, Ordinary Cokriging using SR showed the most accurate result with ME value of 0.0000218 and RMSE value of 0.63983. Ordinary Cokriging using SR was proven to be more accurate than Ordinary Kriging, IDW, using one variable. This indicates that the spatial interpolation method using the vegetation indices is more suitable for spatialization of the biodiversity index sample points of 1st Forest Health Management survey.

Key Words : *Forest Health management, Interpolation, spatial interpolation, satellite image, Vegetation Index, Kriging, IDW, Cokriging*

I. 연구의 배경 및 목적

산림은 인간에게 휴양, 대기 정화, 수자원 보호기능 등 많은 재화와 서비스, 자원을 인간에게 제공한다(Kim, 2012). 최근 기후변화로 인한 지구온난화, 환경오염 등 산림생태계의 건강성을 위협하는 요인의 증대와 함께 산림에 대한 관심의 증대로 국내 및 주요 임업 선진국에서는 산림 관리와 이를 위한 산림생태계 변화 파악 및 관리를 위해 힘쓰고 있다(Bae & Cho, 2013). 세계 각국에서는 체계적인 산림생태계의 관리 및 건강성 파악을 위해 국제산림협약이라 할 수 있는 몬트리올 프로세스(Montreal Process) (Montréal Process Liaison Office, 2000)에서 제시하고 있는 7개의 기준 중 제3 기준인 ‘산림생태계의 건강성과 활력 유지’의 기준을 적용한 조사지표 설정을 통한 산림조사를 수행하고 있으며 이외에도 세계 각국에서는 산림생태계 관리를 위해 여러 방면으로 노력하고 있다(Kurt et al, 2003).

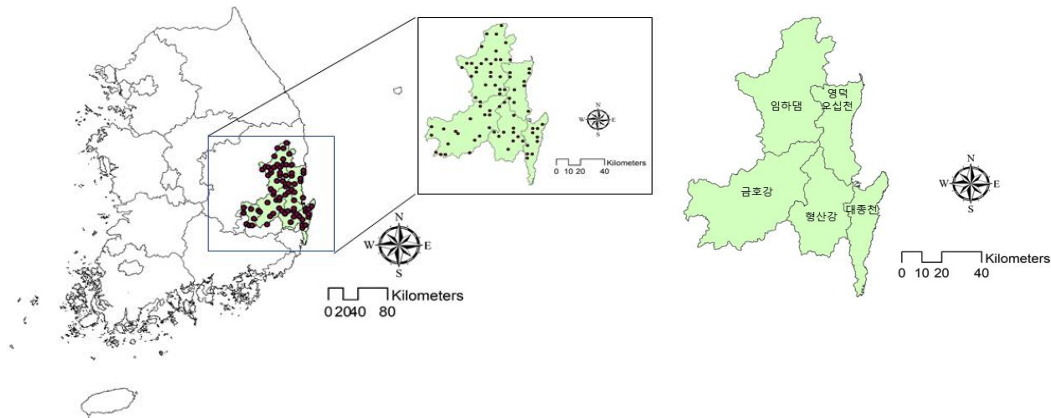
체계적인 산림생태계의 관리를 위해서는 산림에 대한 현황 및 기초 자료 수집이 필요하며 이를 위해 국내외에서 산림생태계의 건강성을 평가하기 위한 여러 모니터링 조사를 통한 연구를 진행하고 있다. 국내에서는 산림청에서 「제5차 산림기본계획(2008~2017년)」에 근거 4,000 플롯을 고정표본점으로 하여 제 5차 국가산림자

원조사(2006~2010년)을 실시, 그 중 967개의 표본점을 대상으로 제1차 산림의 건강·활력도 조사를 진행하였으며, 전국 산림 중 약 81.2%의 산림이 건강하다는 결론을 얻을 수 있었다(National institute of forest science, 2015). 국외에서는 영국에서 영국 내에 서식하는 주요 수종 5종(Norway spruce, sitka, spruce, Scots pine, Oak, Beech)을 위주로 매년 6~9월 사이, 영국 전역에 존재하는 350여 곳의 모니터링 플롯에 있는 약 8400개의 수목을 조사하여 산림의 건강성을 평가하였고(Hendry, 2003), 미국 뉴햄프셔에서 764에이커(ac)의 면적을 10개의 자연 개체군으로 나누어 산림의 건강성을 평가하였다(US Forest Service, 2006).

이렇듯 제1차 산림의 건강·활력도 조사를 비롯한 국내의 산림생태계 조사 및 건강성 조사방법은 표본점(Plot) 모니터링 조사방법이다. 산림 조사뿐만 아니라 대부분의 환경 분야에서 사용되는 방법은 모니터링 조사방법이 대부분이며 표본점으로 조사하여 사용되는 데이터는 공간상으로 연속적으로 분포하지만, 비용, 시간 등 여러 문제로 표본점이 존재하지 않는 원하는 지역의 실제값을 추출하기가 어렵다(Cho et al, 2006). 이를 보완하기 위해 관측값을 이용하여 미관측 지점의 값을 예측하는 방법이 사용되는데, 이를 공간보간(Spatial Interpolation)이라한

Table 1. Forest Health Management point distribution

Province	Number of sample Points	Sample Point ratio(%)
Total	967	100
Gyeonggi	79	8
Gangwon	197	20
Chungbuk	74	8
Chungnam	64	7
Jeonbuk	61	6
Jeonnam	107	11
Gyeongbuk	230	24
Gyeongnam	119	12
Jeju	36	4

**Figure 1.** Study Area

다. 국내외에서는 공간적 분포를 추정하기 위하여 기후데이터, 대기 오염 분포, 해양이온농도 등 연속적으로 분포하지만 관측지점의 값만을 이용하여 미관측지점의 값을 예측하기 위해 많은 공간보간법 연구가 선행되었다. Kim et al.(2011)은 대기오염지도를 작성하기 위해 연속 데이터의 보간기법을 이용하여 작성하는 연구를 진행하였으며, Lee et al.(2011)은 전라북도 서해안지역의 지하수 염소이온 농도를 연속데이터의 공간보간법을 이용하여 분석하였다.

산림 또한 마찬가지로 하나의 산림 내에서도 식생 구조 및 종다양성, 천이 정도가 연속적으로 분포하므로 전반적인 산림의 관리를 위해서

는 조사지점 이외의 환경자료가 필요하며, 이를 위해서 표본점자료만이 아닌 표본점자료를 보간하여 공간적으로 표현한 데이터가 필요하다.

따라서, 본 연구의 목적은 산림의 효율적 관리 및 건강성 파악을 위해 표본점 단위로 조사한 정보 이외의 지역을 포함하여 산림의 건강성과 관련된 데이터구축을 위하여 제1차 산림의 건강·활력도 조사지표 표본점에 공간보간법을 적용하는 것이다. 이를 위해 공간보간법 적용이 가능하다고 판단되는 제1차 산림의 건강·활력도 조사지표를 선정하고, 특성에 맞는 공간보간법을 제시함으로써 산림건강성지도 구축 방안을 제시하고자 한다.

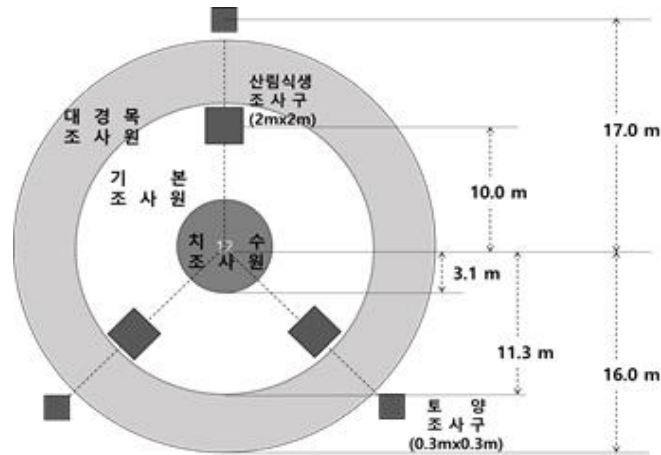


Figure 2. Forest Health Management plot

II. 연구 대상지 및 재료

1. 연구 대상지

본 연구의 범위는 행정구역 기준으로 제1차 산림의 건강·활력도 조사자료 표본점 967개 중 전체의 24%인 230개로 가장 많은 표본점을 포함하는 경상북도 지역을 대상으로 하였다(Table 1). 그 중, 포항시, 영천시, 대구시, 경주시, 울산시 산림의 일부를 포함하는 5개 유역(임하댐, 금호강, 형산강, 대종천, 영덕오십천), 78개의 조사 표본점을 중심으로 분석을 진행하였다.

2. 제1차 산림의 건강·활력도 조사

제1차 산림의 건강·활력도 조사는 산림청에서 「제 5차 산림기본계획(2008~2017년)」에 근거하여 4,000 플롯을 고정표본점으로 하여 제 5차 국가산림자원조사(2006~2010년)를 실시, 그 중 967개의 표본점을 대상으로 진행된 조사이다(National institute of forest science, 2015). 표본점의 구조는 Figure 2와 같다. 제1차 산림의 건강·활력도 조사 및 분석 항목은 수목건강, 식생건강, 토양건강, 대기건강 등 4대 부문 12개 조사지표로 총 28개 항목이 있다. 조사된 28개의 조사항목별 데이터 특성이 다르므로 공간화 가능 유무를 판단하기 위해 먼저 항목별 데이터

특성을 확인하였다. 그 결과, 등급형 변수를 가지는 수목건강 부문 데이터는 연속형 데이터가 아니며 공간상관성(Spatial Correlation)이 나타나지 않았으므로 공간화가 불가능하다고 판단이 되었다. 본 연구에서는 공간보간이 가능한 연속값을 가지며 공간상관성을 가지는 항목을 선별하여 식생건강 부문의 종다양성지수를 공간화 대상 항목으로 선정하였다.

종다양성지수는 산림의 식생구성이 얼마나 다양한 것인가에 대한 객관적 척도가 되기 때문에 산림의 안정 상태를 파악하는데 매우 효율적인 방법으로 활용되므로 제 1차 산림의 건강·활력도 조사항목에 선정이 되었다(Yang et al, 2001). 종다양성 지수로는 대표적으로 Shannon's index가 있으며, Shannon's index는 산림군집의 종다양성 연구에 많이 이용되고 있으며(Lee et al, 2018), 제 1차 산림의 건강·활력도 조사에서도 Shannon's index를 사용하였다.

III. 연구 방법

1. 공간보간법

산림의 건강·활력도 조사 종다양성지수 자료의 공간화를 위해 경북지역 5개 유역 78개 표본점을 대상으로 공간화를 진행하였다. 종다양성

지수에 적합한 공간화 방법을 찾기 위해 선행연구 구조사를 하였으며, 연속형 변수의 공간보간에 사용하는 통계적 방법인 IDW(Inverse Distance Weighted, IDW), Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging 방법을 이용했다. 산림을 대상으로 공간화하기 위해 제5차 임상도를 기준으로 산림 외의 지역은 포함하지 않고 공간화를 진행하였다. 본 연구는 ArcGIS 10.3.1 소프트웨어의 Geostatistical Analyst를 이용하여 진행 및 검증을 실시하였다. Geostatistical Analyst 툴의 경우 자료의 경향성 분석과 정확도 검증이 가능한 툴이다. Geostatistical Analyst의 검증(Validation)기능은 교차검증(Cross Validation)으로 각 표본점을 제외하고 공간보간을 한 결과를 보여주고 실제값과 예측값의 차이를 각 표본점마다 보여준다. 이는 일반적인 모델링의 과정인 학습용(Training), 검증용(Validation or Test)으로 나누는 과정을 대체해준다.

1) IDW(Inverse Distance Weighted, IDW)

IDW 기법은 사용이 간편하여 공간보간 시 널리 쓰이는 방법이며, 공간적으로 인접한 지점 사이의 값은 유사성을 갖지만, 두 지점 사이의 거리가 멀어질수록 유사성이 감소한다는 가정으로 예측치를 생성하는 기법이다. 예측지로부터 가까이 있는 지점이 멀리 있는 지점보다 더 큰 영향을 미치도록 가중치(weight)를 설정하며, 예측 오차를 생성하지 않는 기법으로 가변성이 큰 데이터의 추정에 적합하다(Lee, 2010). 측정값의 최대, 최소값 범위를 벗어나는 값은 추정할 수 없다(Park et al, 2009). 식은 (1)과 같다.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) d_{ij}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}} \quad (1)$$

z 는 주변수, d 는 표본점사이의 거리, p 는 역

거리가중치를 나타낸다.

2) Ordinary Kriging

Kriging은 IDW와 같이 가중치의 적용에 의해 예측하는 방법이지만 공간적자기상관성의 가중 선형 조합으로 유추되는 기법이다(Gooavaerts, 1997). Kriging을 이용한 공간보간 과정에서는 베리오그램을 구하게 되는데, 베리오그램은 일정한 분리거리(lag)만큼 분산된 값들의 차이의 제곱의 평균을 나타내며, 일반적으로 공간적 자기상관성이 있는 자료의 경우 분리거리가 증가할수록 분산의 정도인 베리오그램 값이 증가한다(Choi, 2007). Kriging은 가중치의 설정 방법에 따라 Ordinary Kriging, Universal Kriging, Simple Kriging으로 나뉘며(Kim et al, 2012) 모두 일변량 Kriging으로 부른다. 본 연구에서는 Jin et al,(2013)의 연구를 참고하여 종다양성지수의 자료특성에 맞게 Ordinary Kriging 방법을 이용하였다. Kriging 방법 중 하나의 변수만을 사용한 Ordinary Kriging식은 식(2)와 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - (x_i + h)]^2$$

정규크리깅 가중치 $\gamma(h)$ 는 일정 거리 h 만큼 떨어진 두 데이터 간의 차이를 제곱한 것의 기댓값으로 나타낸다. 식(2)에서 h 는 분리 거리(lag distance)로 두 자료 간의 거리를 의미하고, n 은 분리된 거리만큼 떨어진 샘플자료 쌍의 개수를 나타내는데 분리거리가 증가할수록 일정 거리 이상이 되면 자료 간의 상관성이 나타나지 않는 특정값에 수렴하는 베리오그램 값이 나타나는데 이 값을 문턱값(Sill value)이라하며 이 값이 나타날 때의 최대 분리거리를 상관거리(Range)라고 한다. 분리거리가 0일 때는 베리오그램 정의에 따라 베리오그램 값도 0이어야 하지만 이론적 베리오그램을 찾는 경우에는 분리거리가 0일 때도 베리오그램 값이 0이 아닌 상

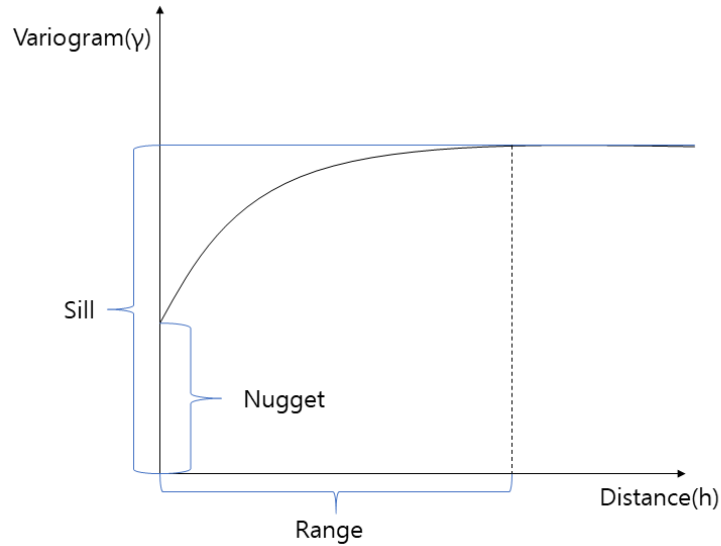


Figure 3. Concept of Variogram (Choi et al, 2015)

수값이 나타나는데 이 값을 너겟(Nugget)값이라고 한다(Figure 3)(Choi et al, 2015).

Ordinary kriging은 자료의 분포가 정규분포에 가까울수록 더 정확한 공간보간을 시행할 수 있다. 그러므로 공간보간 시행 전에, 정확도 향상을 위해 자료의 공간적 특징과 구조파악이 요구된다(Choi et al, 2015). 이러한 공간적 특징과 구조를 파악하기 위해 ArcGIS 10.1의 Geostatistical Analysis툴을 이용해 공간데이터 분석(Exploratory Spatial Data Analysis)을 수행하여 데이터의 경향성을 확인한다. 경향성이 나타날 경우 대수변환을 적용하여 이를 제거한 뒤 정규분포에 가깝게 변환을 한다. 공간데이터 분석은 자료가 정규분포와 가까운지를 확인하기 위해 히스토그램 분석(Histogram Analysis), 경향성 분석(Trend Analysis), QQ-plot(Quantile-Quantile plot) 분석을 진행하였다(Choi et al, 2015). QQ-plot은 확률 누적분포함수와 역함수를 이용하여 두 분포가 직선적으로 일치하는지 확인하는 방법으로 데이터의 정규성을 확인할 때 사용하는 방법이며 히스토그램 분석과 경향성 분석 모두 Ordinary Kriging에 용이한 분포인 정규분포에

가까운지 확인하고자 분석을 진행하였다(Choi et al, 2015).

3) Ordinary Cokriging

두 가지 이상의 변수를 사용하여 예측값을 형성하는 Ordinary Cokriging식은 (3)과 같다. Ordinary Cokriging의 경우, 주변수와 이차변수는 공간 데이터이며 상관성이 높을수록 결과의 불확실성을 줄일 수 있다(Park and Jang, 2008).

$$z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i + \sum_{j=1}^{n_s} \sum_{k=1}^{m_j} \lambda_{jk} u_j(x_{jk})$$

여기서 z 는 주변수, n 은 주변수의 총 자료 수, x 는 각 자료의 위치, n_s 는 사용된 이차변수의 총 개수, u_j 는 j 번째 이차변수, m_j 는 j 번째 이차변수 자료 수, k 는 예측하기 위한 총 자료의 수, λ 는 가중치를 나타낸다. 먼저 이차변수 선정을 위해 산림에 영향을 미칠 수 있는 환경변수 중 공간 데이터가 존재하는 환경인자를 선행연구를 참고하여 선정하였다. 문헌조사 결과, 공간 데이터로 존재하는 환경변수 중 지형인자

Table 2. Vegetation Index Formula

Vegetation Index	Equation
NDVI	$\text{NIR band} - \text{Red band} / \text{NIR band} + \text{Red band}$
SR	$\text{NIR band} / \text{Red band}$
SAVI	$(1+L)(\text{NIR band} - \text{Red band}) / (\text{NIR band} + \text{Red band} + L)$
LAI	$0.7879 * \text{SR} - 0.5889$

인 고도, 기후인자인 온도와 강수량, 식생지수가 선정되었다(Lee et al, 2011; Luis et al, 2006). 기후인자는 AWS자료를 기온감률을 적용한 Kriging기법으로 보간하여 조사시기인 6~9월의 평균 강수량과 최대, 최소 기온을 추출하였다(Kim et al, 2014). 지형인자인 고도는 수치지질도에서 추출한 DEM(Digital Elevation Model)자료를 추출하였다. 식생지수는 Landsat 8 OLI/TIRS 위성영상을 이용하여 구축하였으며, 이 변수들 간 상관관계를 분석하여 이차변수를 선정하였다. 분석결과, 기후인자와 지형인자는 상관관계가 낮게 나타났으므로 이차변수로 사용하지 않았다(Choi et al, 2015).

2. 위성영상을 이용한 식생지수 구축

본 연구에서 사용된 식생지수는 Landsat 8 OLI/TIRS위성의 근적외선(Near Infra Red, NIR) 밴드와 적색(Red)밴드를 이용하여 구할 수 있는 식생지수인 NDVI(Normalized Differenced Vegetation Index, NDVI), SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI), LAI(Leaf Area Index, LAI), SR(Simple Ratio, SR)이며, 각 식의 공식은 Table 2와 같다. 영상은 제1차 산림의 건강·활력도 조사 시기와 일치시키기 위하여 2011년부터 2015년까지 영상 중 식생의 활력이 높은 6월에서 9월 사이의 영상을 이용하였다.

NDVI는 가장 널리 쓰이는 식생지수로서 가시광선과 근적외선의 차이를 구하여 식생이 가지는 반사특성을 강조하여 식생 활력이 낮은 지역은 -1에 가깝고, 식생이 가장 활발히 분포한 지역은 +1의 값에 가까운 값을 가지는 정규식생

지수이다(Huete, 1988). SAVI는 토양 보정 식생지수로, 표면 토양에 의한 수광의 적색 반사율 및 근적외선 반사율 차이를 줄이기 위한 토양 보정계수이다. L이 0.5일 때 토양 밝기의 변화가 적고, 다른 토양에 대한 추가 보정은 필요하지 않으므로 본 연구에도 적용을 하였다(Huete, 1988). LAI는 엽면적지수를 나타내며, NDVI와 함께 널리 쓰이는 대표적인 식생지수로서 단위 면적당 엽면적 비율을 나타낸 것으로 식물의 광합성 및 수분 교환을 나타내는 구조학적 변수로 사용된다. SR은 LAI를 구하기 위한 과정에 쓰이는 식생지수로서 RED 밴드와 NIR밴드의 단순 비율로 계산하므로 비교적 계산하기 쉬운 지수이다(Sellers et al, 1986).

3. 정확도 검증

각 공간보간법의 기법별 실측값과 예측값의 오차를 비교하기 위해 통계적 검증인 교차검증(Cross Validation)을 통해 식(4)을 이용한 평균 제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)와 식(5)를 이용한 실측값과 예측값 차이의 평균인 오차평균(Mean Error, ME)을 이용하여 공간보간법별 정확도를 분석하였다(Kim et al, 2014). z_a 는 관측값, z_a^* 은 추정값을 나타낸다. RMSE와 ME 모두 0에 가까울수록 정확도가 높은 것으로 평가한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{a=1}^n (z_a - z_a^*)^2}$$

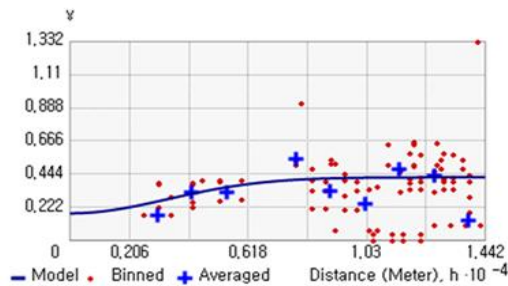
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n |z_a - z_a^*|$$

IV. 연구결과

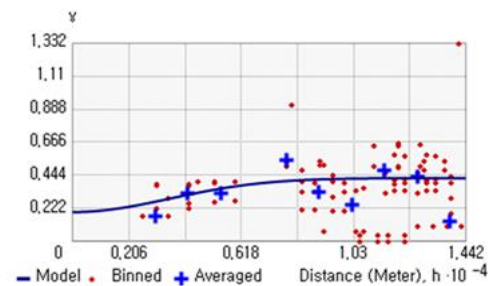
1. 데이터 경향성 분석

공간보간에 사용한 산림의 건강·활력도 조사 종다양성지수 자료의 분포패턴을 나타내는 히스토그램 분석결과, 연구 자료의 공간 분포는 특정한 경향성이 나타나지 않았기 때문에 대수변환을 하지 않고 원자료 그대로 보간을 실시하였다. 히스토그램의 최소값은 0, 최대값은 2.4, 평균값은 1.19, 표준편차 0.6315였으며, 왜도

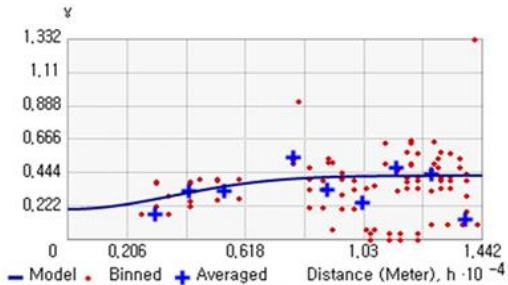
-0.0043381, 첨도 2.0473로 비교적 정규분포에 가깝게 나타났으며, Q-Q plot은 자료의 누적분포와 정규분포간의 차이를 분석하는 것으로 종다양성지수의 표준 정규분포를 나타내는 직선과의 거리가 크게 벗어나지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 경향성 분석(Trend Analysis)결과는 특정한 경향성이 나타나지 않았으며, 베리오그램 분석결과는 베리오그램 값의 1/2인 세미베리오그램(Semivariogram)을 나타내는 그래프를 이용하였으며 세미베리오그램 값이 Ordinary Kriging



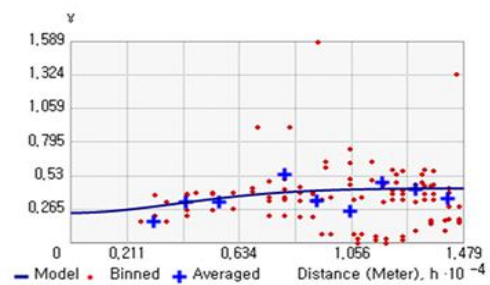
a. Ordinary Kriging Semivariogram



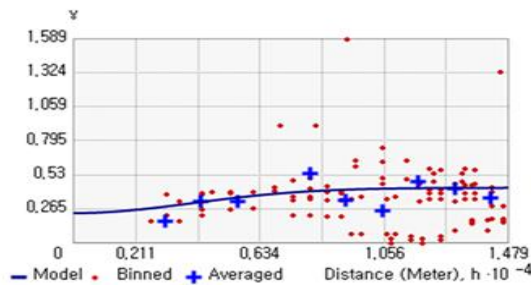
b. Ordinary Cokriging Semivariogram (NDVI)



c. Ordinary Cokriging Semivariogram (SAVI)



d. Ordinary Cokriging Semivariogram (SR)



e. Ordinary Cokriging Semivariogram (LAI)

Figure 4. Variogram Analysis

Table 3. Correlation of primary and secondary variable

Vegetation Index	Correlation
NDVI	0.417*
SAVI	0.417*
SR	0.444*
LAI	0.402*
DEM	0.283*
Max Temperature	-0.204**
Min Temperature	-0.066**
Average Temperature	-0.124**
Average Precipitation	-0.138**

* : Correlation is significant at the 0.05 level

** : Correlation is significant at the 0.01 level

과 Ordinary Cokriging 모두 문턱값까지 증가하다가 일정거리 이상에서는 그 값이 일정해지는 공간적 상관성이 존재할 때 나타나는 전형적인 베리오그램 형태를 확인할 수 있었으므로, Ordinary Kriging과 Ordinary Cokriging의 적용이 적합하다는 것을 확인할 수 있었다(Figure 4).

2. Ordinary Cokriging의 이차변수 선정

이차변수를 이용한 공간보간법인 Ordinary Cokriging에 적용하기 위하여 기후인자, 지형인자, 식생지수를 제1차 산림의 건강·활력도 조사 종다양성지수의 상관성 분석을 수행 결과, SAVI, NDVI, SR, LAI 지수는 모두 제1차 산림의 건강·활력도 조사 종다양성지수와 유의수준 0.05에서 0.4이상 인 양의 상관관계로 나타났다.

기후인자와 지형인자는 상관성이 유의수준 0.01에서 최대기온의 경우 -0.204, 최소기온의 경우 -0.066, 평균기온의 경우 -0.124, 고도의 경우 0.283으로 모두 0.1~0.2 수준으로 낮게 나타났다.

상관관계가 낮게 나타난 기후인자와 지형인자는 제외하고 상관관계가 0.4이상인 네 개의 식생지수만을 Ordinary Cokriging의 이차변수로 사용하였다. 식생지수 중 SR의 상관관계가 0.444로 종다양성지수와 가장 높은 상관관계를

가지는 것을 확인할 수 있었다(Table 3).

3. 공간보간 결과

1) 공간보간법별 정확도 비교

공간보간법(IDW, Ordinary kriging, Ordinary Cokriging) 및 여러 식생지수를 이용한 Ordinary Cokriging의 결과, 패턴 차이와 값의 범위 차이는 크게 나타나지 않았지만 공간보간법 간 예측값의 최대값과 최소값의 차이가 나타난다는 것을 확인할 수 있었다 (Figure 5). Ordinary Kriging, 여러 식생지수를 이용한 Ordinary Cokriging, IDW의 예측 정확도 분석을 하기 위해 교차검증을 실시한 결과는 Table 4와 같다. 종다양성지수만을 이용한 IDW의 오차평균은 0.04333이고, 지리통계학적 방법인 Ordinary Kriging 방법의 오차평균은 0.0007419로 IDW보다 0에 가까운 값으로 나타내었다. 평균제곱근 오차도 마찬가지로 IDW방법은 0.65376이고 Ordinary Kriging방법은 0.64312로 Ordinary Kriging방법이 IDW보다 0에 가까운 값이므로 보다 정확한 결과를 보였다. 식생지수를 사용한 Ordinary Cokriging방법의 경우 모두 식생지수를 사용하지 않은 IDW와 Ordinary kriging 보다 정확하게 나타났다.

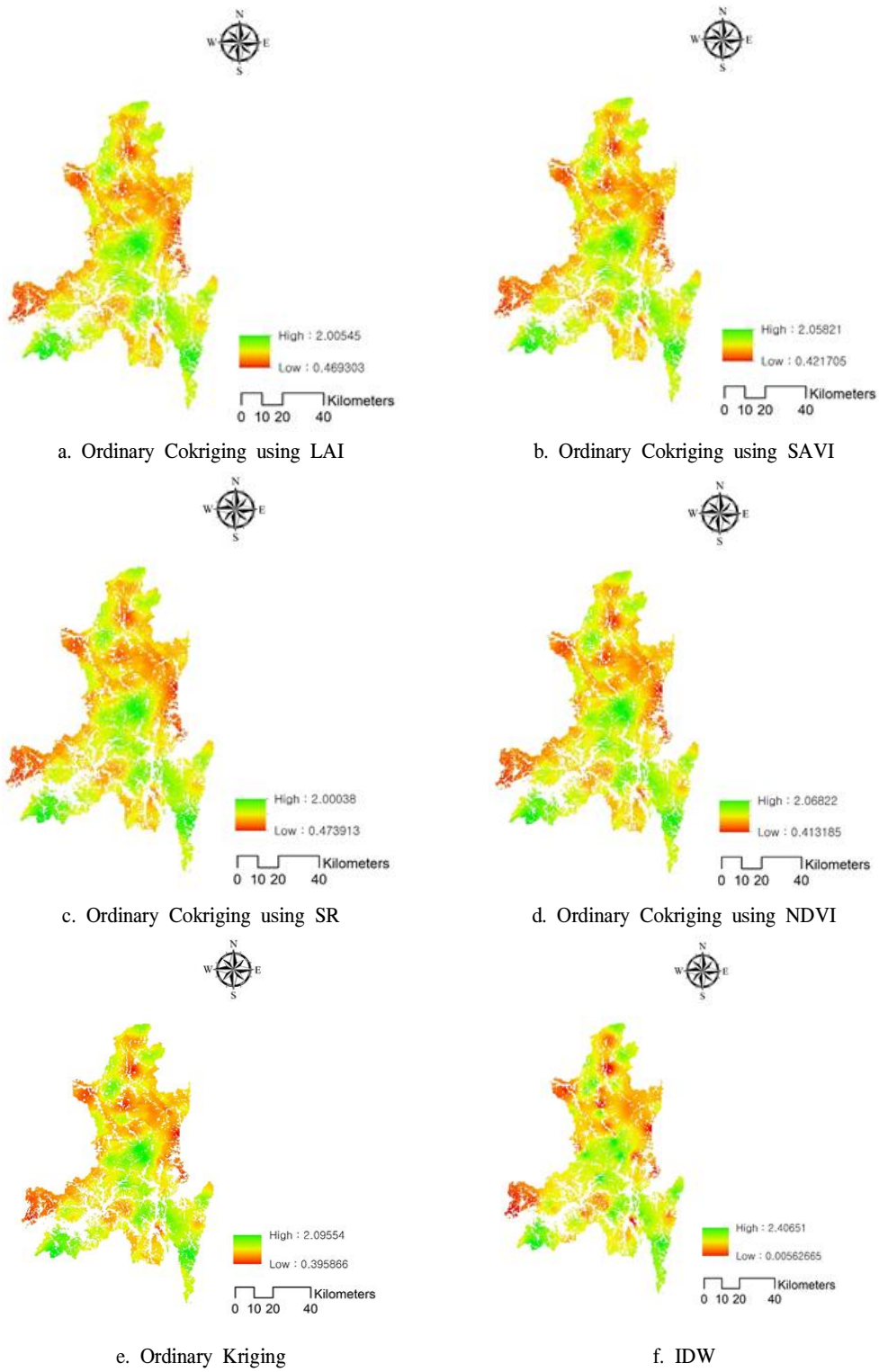


Figure 5. Species diversity Interpolation result

Table 4. Interpolation verification

Interpolation Method		Mean error (ME)	Root mean squared error (RMSE)
IDW		0.04333	0.65376
Kriging		0.0007419	0.64312
Cokriging	NDVI	0.0000217	0.64184
	SAVI	0.0051491	0.64146
	LAI	0.0002042	0.64013
	SR	0.0000218	0.63983

2) Ordinary Cokriging 식생지수 간 정확도 비교

종다양성지수 외에 여러 식생지수를 이차변수로 적용하여 시행한 Ordinary Cokriging 방법의 식생지수 간 정확도 분석결과로는 NDVI를 이용한 Ordinary Cokriging의 오차평균이 0.0000217로 가장 작았으며, 평균제곱근오차의 경우 SR 식생지수를 이용한 Ordinary Cokriging의 결과가 0.63983으로 가장 정확하였다. NDVI를 이용한 Ordinary Cokriging의 오차평균값이 SR을 이용한 Ordinary Cokriging값 보다 0에 더 가까웠으나, SR을 이용한 Ordinary Cokriging의 평균제곱근오차 값이 NDVI를 이용한 Ordinary Cokriging 오차평균값보다 더 크게 0에 가까우므로 SR을 이용한 Ordinary Cokriging값이 보다 더 정확하다는 것으로 판단할 수 있다.

시행한 각 공간보간법 별 정확도를 비교한 결과는 하나의 변수만을 이용하는 공간보간법 간 비교는 단순 거리에 가중치를 두는 IDW보다 지리통계학적 방법인 Ordinary Kriging방법이 오차평균과 평균제곱근오차값이 모두 IDW방법보다 0에 가까웠다. 그러므로 일변량 공간보간법 중 IDW방법 보다 Ordinary Kriging 방법이 더 정확한 방법이라는 것으로 볼 수 있다. 여러 식생지수를 이용한 Ordinary Cokriging 방법 간 교차검증 결과 식생지수 SR을 이용한 Ordinary Cokriging 방법이 평균제곱근오차값이 0에 가장 가까웠으므로 제1차 산림의 건강·활력도 조사 종다양성 지수 자료의 공간화에 가장 적합한 식

생지수라는 것을 알 수 있었다.

V. 결론 및 고찰

본 연구는 제1차 산림의 건강·활력도 조사자료 중 종다양성지수의 공간화 방법을 제시하기 위해 실시하였다. 공간상에서는 표본점이 존재하지 않는 지점에도 값이 존재하지만 공간상 모든 데이터의 값을 관측한다는 것은 현실적으로 불가능하므로 관측된 지점을 통한 공간데이터를 예측하는데 공간보간법이 사용된다. 여러 공간보간법을 적용시키기 위해서는 데이터별 특성에 맞는 공간화가 필요하므로 연속형 변수의 공간화에 사용되는 IDW, Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging 방법을 적용하여 각 보간기법별 정확도를 분석하였다. Ordinary Cokriging 방법의 경우 이차변수를 선정하기 위해 식생지수를 이용한 종다양성지수의 공간화사례(Luis et al, 2006)와 산림에 영향을 미치는 환경인자를 선행연구를 통해 이차변수후보로 선정한 뒤 비교적 높은 상관관계를 가지는 위성영상을 이용한 식생지수를 선정하였다.

공간보간법별 정확도는 종다양성지수만을 이용한 일변량 공간보간법 중 지리통계학적(Geostatistical) 방법을 이용한 Ordinary Kriging 방법이 단순 거리에 가중치를 두는 IDW 방법보다 정확한 것으로 나타났으며, 공간 데이터인 식생지수를 이차변수로 사용한 Ordinary Cokriging 방법이 하나의 변수만을 이용하는 IDW, Ordinary Kriging 방

법보다 높은 정확도를 가지는 공간화 방법이라는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 여러 식생지수 중 SR을 사용한 Ordinary Cokriging 방법이 비교적 가장 정확한 방법이라는 것으로 나타났다.

본 연구결과는 기존에 존재하는 산림자원조사자료 중 비교적 가장 다양한 조사항목을 가지는 제 1차 산림의 건강·활력도 조사 자료의 공간화를 위해 공간화가 가능한 항목을 검토 후, 항목 중 하나인 종다양성지수를 활용하여 조사 표본점이 존재하지 않는 곳의 값을 예측하기 위해 공간화를 진행한 것에 의의가 있다. 또한, 현재 논의되고 있는 산림건강성평가지도 작성에 요구되는 기초 방법론 분석에 새로운 대안으로 제시될 수 있을 것으로 판단된다. 제 1차 산림의 건강·활력도 조사 자료를 대상으로 자료특성에 맞는 적절한 공간보간방법을 선행연구 분석을 통해 제시함으로써 여러 공간화방안 중 보다 정확한 공간화방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 자료특성에 맞는 적절한 공간보간법의 적용은 여러 시행착오를 거쳐 적합한 방법을 찾아야 하는데, 본 연구를 참고하여 보다 나은 판단을 내리는데 용이할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계는 기존에 선행되었던 연구 중 종다양성지수의 공간화 검증에 적절한 데이터를 찾기 어려우므로 통계적 검증 외에 자세한 검증을 하지 못하는 것에 한계가 있다.

이를 보완하기 위해 추후 산림의 건강 및 활력도 표본점 추가 표본점 조사 시 본 연구의 결과와 실측값의 결과 비교를 통해 통계적방법이 아닌 공간보간법 검증 방법이 필요할 것이다. 공간보간에 있어 정확한 방법을 찾는 것이 중요하지만 정확한 검증 또한 필요한 것으로 보인다. 그 외에, 다른 조사 항목의 공간보간 방안 연계, 중첩 및 연구를 통해 보다 정확한 전국산림건강성평가지도 작성 방안을 제시하는 것이 필요할 것으로 보인다.

References

- Bae MK and Cho TH. 2013. The Capability Strengthen Strategies and Energy Substitution Effect of Forestry Sectors as Climate Change Response Mechanism: Focused on Woody Biomass. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation*. 17(1) : 87-96. (in Korean with English summary)
- Bennett DD and Tkacz BM. 2008. Forest health monitoring in the United States a program overview. *Australian Forestry* 71 : 223-228.
- Choi JH and Kim BJ. 2015. A Study for Applicability of Cokriging Techniques for Estimating the Real Transaction Price of Land. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 23(1) : 55-63. (in Korean with English summary)
- Choi JK. 2007. *Geostatistics*. Seoul: Sigmappress. (in Korean with English summary)
- Choi SK · Lee SK and Wang Baio. 2014. Analysis of Vegetation Cover Fraction on Landsat OLI using NDVI. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 32(1) : 9-17. (in Korean with English summary)
- Goovaerts P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, Inc.
- HENDRY SJ. 2004. Monitoring of forest health in Britain: the forest condition survey and Level 1 networks. *Forest Research annual report and accounts*.
- Hong GD. 1996. Atmospheric correction method of Landsat TM, *Korean Journal of Remote Sensing*. 10(3) : 195-172 (in Korean with English abstract).

- Huete AR. 1988. A soil-adjusted vegetation index(SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25 : 295-309.
- Jin Li and Andrew D. Heap. 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software* 53(2014) : 173-189.
- J. Luis Hernandez-Stefanoni and Raul Ponce-Hernandez. 2006. Mapping The Spatial Variability Of Plant Diversity In A Tropical Forest. *Environmental Monitoring and Assessment*. 117 : 307-334.
- John A. Ludwig · LUDWIG QUARTET and James F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology: A Primer in Methods and Computing*.
- Jung GS. · Koo S and Yoo HH. 2011. Temperature Change Analysis for Land Use Zoning Using Landsat Satellite Imagery. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System* 19(2) : 55-61 (in Korean with English summary).
- Jung JC and Cho H. L. 2006. Application of Spatial Interpolation to Rainfall Data. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 14(1) : 29-41 (in Korean with English summary)
- Kim EG. 2012. Review of the Role of Forest sector on Climate Change. *Journal of Sustainability Research*. 3(2) : 1-20. (in Korean with English summary)
- Kim HJ and Jo WK. 2012. Assessment of PM-10 Monitoring Stations in Daegu using GIS Interpolation. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 20 (2) : 3-13. (in Korean with English summary)
- Kurt HR · James DW and John WC. 2003. A Preliminary Assessment of Montréal Process Indicators of Forest Fragmentation for the United States. *Environmental Monitoring and Assessment*. 91 : 257-276.
- Kim KA · Jang, SK · Han JS and Yoo KO. 2009. Environmental Characteristics of Hanabusaya asiatica Habitats. *HORTICULTURE ABSTRACTS*. pp.174-174. (in Korean with English summary)
- Kim MH · Kang IJ · Kim SS and Min BG. 2011. Distribution of air pollution using GIS techniques. *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*. 2011(10) : 240-242. (in Korean with English summary)
- Kim SH · Sung JH · Koo NI · Kim YS and Kim KH. 2016. The 1st Forest Health Monitoring. National Institute of Forest science (in Korean with English summary)
- Kim YS · Shim KM · Jung MP and Choi IT. 2014. Accuracy Comparison of Air Temperature Estimation using Spatial Interpolation Methods according to Application of Temperature Lapse Rate Effect. *Journal of Climate Change Research*. 5 : 323-329. (in Korean with English summary)
- Kurt HR · James DW and John WC. 2003. A Preliminary Assessment of Montréal Process Indicators of Forest Fragmentation for the United States. *Environmental Monitoring and Assessment*. 91 : 257-276.
- Lee HS. 2010. Comparison and Evaluation of Root Mean Square for Parameter Settings of Spatial Interpolation Method. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 13(3) : 29-41. (in Korean with English summary)
- Lee KI · Hwang JH · Jang RI · Ryu JE and Jeon SW. 2018. Study on the Appropriate Spatial

- unit to Measure Biodiversity Using National Ecosystem Survey Data. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*. 21 (5) : 29-37. (in Korean with English summary)
- Lee KS · Lim DG · Choi YW · Yun W and Cho GS. 2011. The Analysis of Chloride Ion of Ground Water in the West Coast District of Jeollabuk-Do using Spatial Interpolation. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 19(4) : 23-33.(in Korean with English summary)
- Lee SC · Choi SH · Lee WK · Yoo SJ and Byun JG. 2011. The Effect of Climate Data Applying Temperature Lapse Rate on Prediction of Potential Forest Distribution. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 19(2) : 19-27. (in Korean with English summary)
- Montréal Process Liaison Office: 2000. 'Montréal process year 2000 progress report – progress and innovation in implementing criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests'. The Montréal Process Liaison Office. Canadian Forest Service, Ottawa, Canada.
- Park IH and Cho KJ. 2011. Synecological Characteristics and Vitality Analysis of the *Berchemia berchemiaefolia* Habitat. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 14(2) : 97-105. (in Korean with English summary)
- Park JC and Kim MK. 2009. A Study on the Use of a Terrain Aspect Variable in Producing the Precipitation Distribution Map applying Cokriging: A Case of Jeju Island. *Journal of the Korean Geomorphological Association*. 16(3) : 59-66. (in Korean with English summary)
- Park JG · Go SY and Cho GS. 2013. Vegetation Classification using KOMPSAT-2 Imagery and High-resolution airborne imagery in Urban Area, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System* 21(4) : 21-27. (in Korean with English summary)
- Park NW and Jang DH. 2008. Mapping of temperature and rainfall using DEM and multivariate kriging. *Journal of the Korean Geographical Society*. 43(6) : 1002-1015. (in Korean with English summary)
- Sellers P.J · Mintz Y · Sud, YC and Dalcher A. 1986. A simple biosphere model(SiB) for use within general circulation models. *Journal of Atmospheric Science*. 43 :505-531.
- US Forest Service and Forest Health Protection Durham Field Office. 2006. Forest Health Assessment Great Bay National Wildlife Refuge.
- Yang HM · Kang SK and Kim JH. 2001. Selection of Desirable Species and Estimation of Composition Ratio in a Natural Deciduous Forest. *Journal Of Korean Society Of Forest Science*. 90(4) : 465-475. (in Korean with English summary)
- Yoon SY · Choi H and Kim GH. 2017. Estimation of Vegetation Cover Fraction Using Landsat 8 OLI imagery and Field Survey Data. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 25(3) : 95-100. (in Korean with English summary)