

다변량 환경 공간변수 주성분 분석을 통한 남·북 생태계 차이

유재심 · 김경민

국립산림과학원 국제산림연구과

Principal Component Analysis Based Ecosystem Differences between South and North Korea Using Multivariate Spatial Environmental Variables

Yu, Jaeshim and Kim, Kyoungmin

Division of Global Forestry, Korea Forest Research Institute.

ABSTRACT

The objectives of this study are to analyze the quantitative ecological principal components of Korean Peninsula using the multivariate spatial environmental datasets and to compare the ecological difference between South and North Korea. Ecological maps with GIS(Geographical Information System) are constructed by PCA(Principal Component Analysis) based on seventeen raster(cell based) variables at 1km resolution. Ecological differences between South and North Korea are extracted by Factor Analysis using ecosystem maps masked from Korean ones. Spatial data include SRTM(Shuttle Radar Topography Mission), Temperature, Precipitation, SWC(Soil Water Content), fPAR(Fraction of Photosynthetically Active Radiation) representing for a productivity, and SR(Solar Radiation), which all cover Korean peninsula.

When it performed PCA, the first three scores were assigned to red, green, and blue color. This color triplet indicates the relative mixture of the seventeen environmental conditions inside each ecological region. The first red one represents for 'physiographic conditions' worked by high elevation and solar radiation and low temperature. The second green one stands for 'seasonality' caused by seasonal variations of temperature, precipitation, and productivity. The third blue one means 'wetness

First author : Yu, Jaeshim, Division of Global Forestry, Korea Forest Research Institute,
Tel : +82-2-979-3557, E-mail : jaeshimy@hanmail.net

Corresponding author : Yu, Jaeshim, Division of Global Forestry, Korea Forest Research Institute,
Tel : 82-2-979-3557, E-mail : jaeshimy@hanmail.net

Received : 28 May, 2015. **Revised** : 8 August, 2015. **Accepted** : 17 July, 2015.

condition' worked by high value such as precipitation and soil water contents. FA extraction shows that South Korea has relatively warm and humid ecosystem affected by high temperature, precipitation, and soil water contents whereas North Korea has relatively cold and dry ecosystem due to the high elevation, low temperature and precipitation.

Results would be useful at environmental planning on inaccessible land of North Korea.

Key Words : *Ecological factors, Remote Area, Soil Water Contents, Inaccessible Land, North Korea.*

I. 서 론

남북교류협력의 방향은 전역적이고 이념적인 개념에서 점차 지역적이고 구체적인 개발협력 사업으로 진행되고 있다. 환경 및 산림협력 분야에서는 산림경관복원, 생태계 연결, 임농복합 경영, 신재생에너지 사업 등 비정치적이고 실용적인 사업들을 제시하고 있다. 이러한 사업들의 특징은 생태환경과 적지분석을 바탕으로 진행되어야 하지만 북한이 오랫동안 접근불능지역으로 남아 있기 때문에 북한의 자연환경에 관한 정보는 일제 강점기에 만들어진 문헌자료에 의지하거나 국제기구를 통해 간접 확인하여 활용하고 있다. 그러나 최근 보편화된 원격지 연구 방법론이나 공간통계 기법은 현장을 직접 경험하지 않아도 연구대상지의 생·지화학적 특성이나 물리적 현황을 파악하고, 생태계 요인을 추출하여 산림 및 환경 분야 사업을 위한 기초 자료로 활용할 수 있기 때문에 접근불능지역인 북한을 공간적·정량적으로 연구하기에 매우 유용한 방법론이다.

생물과 무생물의 상호작용을 통합하여 인식하려는 개념인 생태계(Tansley, 1935)는 기후, 토양, 수문조건, 자연식생 등이 유사한 지역을 특별히 생태지역 이라고 한다(Bailey et al, 1985). 생태지역은 인문적으로 토지이용, 경제활동, 정서와 문화를 유사하게 공유하고 이웃한 지역과는 차별성을 가지는 지리적 군집이다(Hargrove and Hoffman, 2005). 따라서 생태지역도(Ecoregion

Map)는 생태계의 생물과 무생물이 상호작용하는 지역을 분할하여(Loveland and Merchant, 2004; Bailey, 2005), 다변량 환경 요소들이 지역 내에서는 유사성을 나타내고 다른 지역과는 차별성을 보이도록 범주화 하여 사용자들이 이해하기 쉽도록 시각화 하는 것이다(Hargrove and Hoffman, 2005).

과거, 정성적 질적 생태계 연구는 몇몇 전문가의 경험의 축적이나 식견에 의지하여 진행되어 왔다(Crowley, 1967; Bailey, 2005 재인용). 그러나 GIS를 활용한 정량적 통계적 생태계 연구는 지형과 기후 이외에 지구관측 위성에서 획득한 환경 데이터를 이용하여 유사성과 차별성을 기반으로 지역 구분(Hargrove et al., 2003; Hargrove and Hoffman, 2005), 농업 생태지역 분류(Williams et al., 2008), 지역의 생물다양성 평가(Coops et al., 2009), 생태계의 생산성 평가(Fitterer et al., 2012) 등 특정 목적을 위한 다변량 생태계를 모델링할 수 있다는 장점이 있다(Duro et al., 2007).

미국은 고도, 토양요인, 기후 등 9개의 변수를 주성분 분석하여 생태요인의 지역적 분포와 특징을 파악하고, 군집분석 방법으로 3,000개의 생태지역을 분류하였다(Hargrove and Luxmoore, 1998). 이후, 극한 온도, 토양영양과 유기물, 용수량, 무안개 일수, 토양밀도와 깊이, 일사면의 변수를 추가하여 5,000개의 생태지역을 세분화하였다(Hargrove et al., 2003; Hargrove and Hoffman, 2005). 캐나다는 원격탐사(Remote Sensing)로 취득한 물리환경, 식생의 생산성, 서식지 관련

변수들을 분석하여 생물다양성 평가를 위한 생태지역을 분류하고(Coops et al., 2009), 지형, 토양수분지수(Topographic Wetness Index), 가용에너지(Solar Insolation and Snow Melt), 생산성(fPAR)을 주성분 분석하여 캐나다 브리티시 컬럼비아(British Columbia) 생태계를 모델링하였다(Fitterer et al., 2012). 많은 국가와 지역들이 다변량 환경 공간변수를 활용하여 생태계를 모델링하고 생태지역을 연구하는 것은 첫째, 생태계 행동과 지식이 경험적·실증적으로 오랫동안 흡사하게 작동한 지역은 돌발적인 기능의 조정을 거의 필요하지 않으며 둘째, 비슷한 생태계 시스템에서 기대되는 반응이 매우 흡사하기 때문에 자연환경 관리에서 에너지가 적게 투입되고 정책적 관리 측면에서도 유리하기 때문이다(Bailey et al., 1985).

본 연구는 다변량 환경 공간변수를 분석하여 한반도 생태계를 시각화 시키고, 생태요인을 추출하여 남북 생태계 차이를 비교하는 것을 목적으로 한다. 남한과 북한은 한반도라는 물리적 공간을 공유하지만, 오랫동안 환경정보의 교류가 부족하여 가용할 수 있는 생태정보가 부족하여 남북 교류협력 사업, 특히 산림경관 복원(Forest Landscape Restoration)에 활용할 수 있는 기본적인 공간정보를 구축하기 위함이다. 정성적으로 알고 있는 남·북 생태계 차이를 정량적으로 파악하기 위함이다. 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 통한 생태계 시각화는 GIS(Geographical Information System)를 통해 구현하고 통계분석과 요인추출은 SPSS version 21을 사용하였다.

II. 재료 및 방법

1. 환경 공간자료

전통적인 생태지역 변수인 지형과 기후 이외에, 남·북 생태계 차이를 탐지할 목적으로 생산성, 일사량, 토양수분함유량 등을 입력하였다

(Fitterer et al., 2012; Andrew et al., 2013). 모든 변수는 공간해상도 1km의 래스터(Raster) 기반 원격탐사 자료 혹은 GIS 데이터로, 각 변수의 화소(Pixel)는 물론 좌표체계가 일치하도록 재배열하였다.

1) 지형

한반도 지형은 CGIAR-CIS(Consortium for Spatial Information)에서 무료 제공하는 90m SRTM version 4.1의 7개 타일(tile)을 내려 받아 가공하였다. SRTM version 4.1은 VFM(Void Fill Methodology) 알고리즘과 보조 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 품질을 새롭게 향상시킨 것으로(Mouratidis et al., 2010), 육역(Terrestrial area)에서 null 값이 없도록 최근린 내삽법(Nearest Neighbor)으로 보정하고 공간해상도 90m를 1km로 재배열하였다(Figure 1).

2) 기후 자료

기후자료는 WorldClim에서 제공하는 공간해상도 1km의 월별 평균기온과 월별 강수량 version 1.4를 내려 받아 기온(Figure 2)과 강수량(Figure 3) 변수를 생성하였다. 90m SRTM을 바탕으로, 1950~2000년 사이에 GHCN(Global Historical Climatology Network), FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations), WMO(World Meteorological Organization), CIAT(International Center for Tropical Agriculture), R-HYdronet의 과거 자료와 현재 기상자료를 보강하여 제작된 것으로(Hijmans et al., 2005), 전 세계 47,554 관측 지점의 강수량 및 24,542 지점의 평균기온 그리고 14,835 관측소의 최대와 최소 온도를 사용하였다. 한반도 관측지점은 남한 78개소이고 북한은 27개소이다.

3) 토양수분 함유량

토양수분 함유량은 WorldClim과 CGIAR-CSI PET(Potential EvapoTranspiration) 기후 데이터

를 입력하여 제작된 것으로, WorldClim의 1950년~2000년까지 월 평균 강수량, 월간 PET, 현존 증발산량(AET; Actual EvapoTranspiration)의 월간 분포, 유출(R; Runoff)과 실측 토양수분 함유량 데이터를 사용하여 제작된 공간적 분포 지도이다. SWC는 식생의 증발산 과정에 투입되는 수분 최대량(SWC_max) 350mm를 100으로 고정하여 뿌리 깊이 2m를 유지할 수 있는 토양의 질감을 추정된 값이기 때문에(Volkoff et al., 2012), SWC가 100에 가까운 지점은 토양수분 함유량이 많고 대개 산림식생이 양호한 지역이다. SWC가 0을 향해 가까워지면 토양수분이

메마른 곳으로 경작이 끝난 농경지나 개별지가 이에 속한다(Figure 4).

4) 일사량

지형이 복잡한 한반도 산림환경을 예측하거나 설명하는 모델에서 일사량은 중요한 변수이다. 일사모델은 지형의 온도효과에 영향을 주고(Kumar et al., 1997), 식물의 형태와 생장을 지원하고(Franklin, 1995), 소나무 좀벌레 공격 지점을 예측하는 산림모델에도 사용되었다(Wulder et al., 2010). 지원되는 통계량은 위도 1°를 커버하기 때문에 한반도 일사량 지도를 생성하기

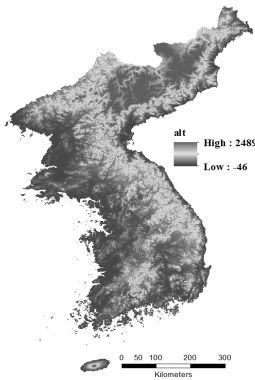


Figure 1. The SRTM digital elevation data(alt)

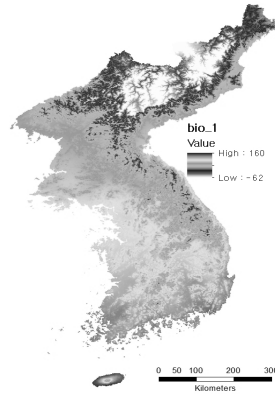


Figure 2. Annual mean temperature (bio1)

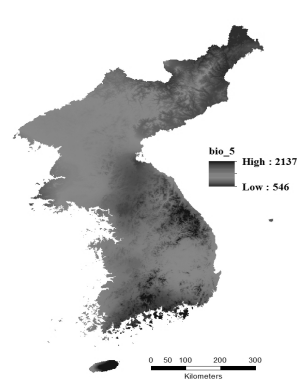


Figure 3. Annual mean precipitation (bio5)

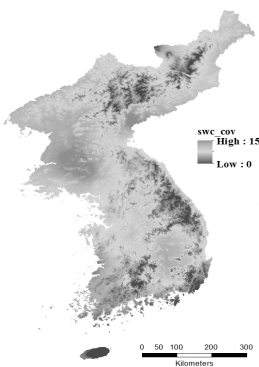


Figure 4. Coefficient of variation of soil water contents (swc_cov)

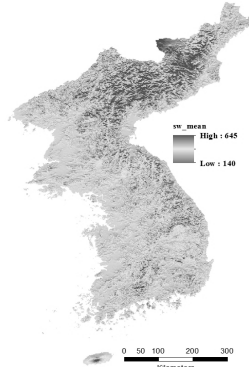


Figure 5. Mean sola radiation during winter(sw_mean)

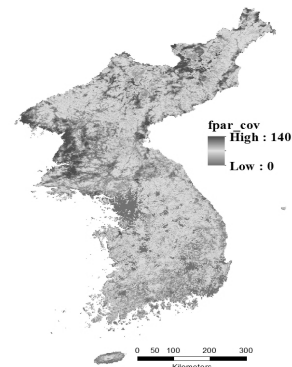


Figure 6. Fraction of photosynthetically active radiation(fpar)

위해서 SRTM을 바탕으로 33°에서 43°까지 과정을 반복하여 합산하는 4단계의 과정을 거쳤다. 단위는 WH/m²이다.

5) 생산성

식물이 흡수하는 방사에너지의 비율은 식물 생장에 관련되기 때문에 fPAR은 바이오매스 생산 측정에서 중요한 변수이다(Figure 6). 구름 영향을 완전히 제거하지 못한 fPAR은 유효 광합성복사 흡수율에 오차를 발생시킬 수 있지만 (Kang et al., 2005) 본 연구에 사용된 fPAR은 MCD15A2로 불리는 MODIS(Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) Terra 8-day 자료로 대기보정, 기하보정, 방사보정 등 위성 전 처리 과정, 품질측정과 정확도 검증을 마쳤다(NASA; Reverb/ECHO). fPAR 추정치 0은 나지, 시가지, 설경(Snow Cover Landscape)이고, 추정치 1은 밀도가 높은 식생피복을 의미한다(Coops et al., 2008).

2. 분석 방법

1) 다변량 변수 생성

지형, 온도, 강수량, 토양수분 함유량, 일사량, 생산성의 6개 공간 변수를 가공하여 입력변수로 사용하였다. 기온자료는 연 평균 온도(bio1), 온도의 계절변동성(bio2), 여름철 평균온도(bio3), 겨울철 평균온도(bio4)이고, 강수량 자료는 연평

균 강수량(bio5), 강수량의 계절 변동성(bio6), 겨울철 3개월의 강수량(bio7), 우기 3개월 강수량(bio8)이다. 토양수분함유량(SWC), 여름철 일사량(SS), 겨울철 일사량(SW), 생산성(fPAR)은 연평균치(mean)와 열두 달의 변동계수(COV)를 적용하였다. 지형(SRTM)은 모든 입력변수의 바탕이고 고도(alt) 변수이다.

2) 한반도 생태계 시각화

일반적으로 주성분 분석은 다변량 변수의 차원을 축소하기 위한 목적으로 사용되지만, 본 연구에서 GIS를 활용한 주성분 분석은 생태지역에 작동하는 17개의 변수로 17개의 표준화된 직교회전(Varimax Rotation) 축을 형성하여 성분의 설명력이 높은 순서대로 첫 세 개의 적재치를 RGB 칼라로 표현하여 한반도 생태계를 시각적으로 설명하는데 사용되었다(Figure 7). 이와 같이 주성분 분석의 차원을 축소하지 않고 사용하는 것은 생태계 모델링의 목적이 단지 생태지역을 분류하는 데 있지 않고, 남북 생태계 차이에 기여하는 생태요인을 추출하는 데 있기 때문이다. 변수들은 17차원 데이터 공간에서 비슷한 셀은 유클리디안 분리거리로 코딩되어 유사한 셀끼리 세 개의 주성분으로 생성된 RGB 칼라 지도를 만든다(Hargrove and Hoffman, 2005). 따라서 한반도 지형(SRTM) 위에 구현되

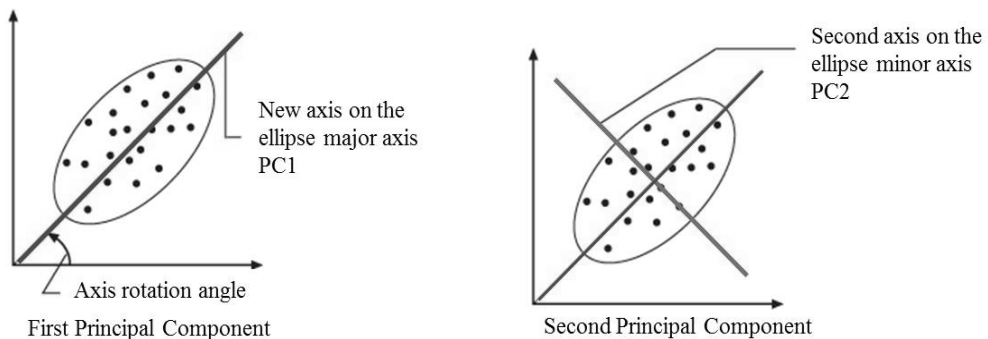


Figure 7. The concepts of PCA. Major axis becomes new x-axis, the greatest variation of PC1(left) and the new axis for the original y-axis of PC2, the greatest variance not described by PC1(right).

Table 1. Varimax rotation scores(> 0.5) and color code of the first three components of PCA.

Variables	Factor 1(red)	Factor 2(green)	Factor 3(blue)
ss_mean	-.926		
sw_mean	-.894		
alt	-.878		
bio3	.835		
sw_cov	.825		
bio1	.764		
bio2		.854	
bio6		.845	
bio7		-.779	
bio4	.667	-.715	
fpar_cov		.671	
bio8			.862
bio5			.834
swc_mean			.808
swc_cov			-.585
Eigenvalue	7.034	4.229	1.898
Proportion variation explained	41.374	24.879	11.165
Cummulative variation explained	41.374	66.253	77.417

*Extraction Method: Principal Component Analysis.

*Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

*Cut the score off less than 0.5

는 독특한 RGB 칼라는 상대적으로 기여도가 높은 세 성분의 분포이고, 지역마다 독특한 칼라는 생태 요인의 지역적 특징과 차이를 설명하는 도구로 사용되었다.

3) 남·북 생태계 차이

남한과 북한은 오랫동안 자연환경 정보의 교류가 단절되었기 때문에 남·북 생태계 차이를 정량적으로 분석하기 위한 목적으로 GIS를 통해 시각화한 한반도 생태계를 남한과 북한의 경계과일로 분할하여 남한과 북한을 대상으로 각각 요인분석(Factor Analysis) 하였다(Hirzel et al.,

2002). 요인추출은 차원을 축소하지 않은 다변량 주성분 분석과 같이 상관관계를 구분하지 않고 17개의 변량을 모두 주성분에 진입시켜서 직교회전한 후 Eigen value > 1인 주성분 중 요인점수가 높은 중요 인자(factor score > 0.5)를 파악하여 남·북 생태계 차이를 설명하였다. 베리맥스(Varimax) 직교회전 적재치 > 1인 첫 세 개의 성분 점수 중 남한과 북한 중 어느 하나라도 0.5이상인 요인을 x = 남한, y = 북한 축에 입사하여 남·북 생태계 차이를 (x , y) 도표로 설명하였다. x 축 혹은 y 축에 가까운 점수좌표는 영향이 남한 혹은 북한으로 편향적으로 작동

하고, (x, y) 값이 1 혹은 -1에 가까우면, 작용하는 크기는 비슷하지만 방향이 서로 다른 것을 의미한다. 또한, 한반도 생태지역도 작성에 활용된 17개 환경 변수의 최소, 최대, 평균, 표준편차를 표로 제시하여 변량의 남·북 차이를 가늠할 수 있도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 생태계 주성분

주성분 분석을 통해 한반도의 생태계를 형성하는 총 17개 공간 축(총 설명력 = 1.00)에 각각 영향을 주는 상대적 기여도와 누적 설명력은 5개의 성분이 각각 Eigenvalue > 1을 나타냈다. 세 번째 성분에서 누적 설명력 77.417%, 네 번째 성분에서 87.124%의 설명력을 보였고(Cumulative Variation Explained = 87.124), 한반도 생태계를 설명하는 세 개의 주성분은 다음과 같다(Table 1).

설명력 41.374%를 나타내는 첫 번째 성분에는 일사량, 고도, 온도 등이 요인점수 > 0.5 이상의 높은 점수를 기록하였고, 이는 지문학적(Physiographic) 특성을 의미한다. 여름(ss_mean = -.926)과 겨울의 평균 일사량(sw_mean = -.894)이 높고, 고도가 높고(alt = -.875), 연 평균온도(bio1 = .764), 여름철 평균온도(bio3 = .835), 겨울철 평균온도(bio4 = .667)가 낮은 것이 높은 점수로 진입하였다. PC1에서 제외되었지만 설명력 24.879%를 나타내는 두 번째 요인은 온도, 강수량, 생산성의 변동성에 관한 성분이 진입하였고 이는 지역마다 다른 변수들의 계절변동성(Seasonality)을 의미한다. 온도의 계절변동성(bio2 = .854), 강수량의 계절변동성(bio6 = .845), 건조기의 강수량(bio7 = -.779), 겨울철 평균온도(bio4 = -.715), 생산성의 변동성(fpar_cov = .671)이 지역마다 다르고, 요인점수 > 0.5이상의 높은 점수를 기록하였다. PC1과 PC2에서 제외되었지만 설명력 11.165%를 나타내는 세 번째 성분에는 여름철 강수량(bio8 = .862), 연평균 강수량

(bio5 = .834), 토양수분함유량(sw_c_mean = .808), 토양수분의 계절변동성(sw_c_cov = -.585)이 진입하였고, 요인점수 > 0.5 이상의 높은 점수를 기록하였다. 지역마다 다르게 나타나는 이 주성분을 습윤성(Wetness Condition)으로 명명하였다.

2. 한반도 생태계 분포

GIS를 이용하여 직교회전한 적재치가 1보다 크고 누적설명력 약 77%를 나타내는 첫 세 개의 주성분에 RGB 칼라를 할당하여 한반도 생태계를 시각화하였다(Figure 8). 한반도 생태계 주성분에서 요인의 회전 적재치가 큰 세 개의 RGB 칼라는 지역마다 다르게 분포하고, 이는 생태요인의 독특한 지역적 차이를 나타낸다. 한반도는 남부와 북부지역 그리고 동부와 서부지역에 발현하는 주요인이 차별화 되는 특성을 보여준다. 남부와 북부는 파란색과 빨간색의 차이가 대비되고, 동쪽과 서쪽은 녹색의 밝기에서 차이가 나타난다. 지문학적 특성인 빨간색(Red)은 백두산과 개마고원을 정점으로 지역에 따라 진하고 열어지면서 함경산맥, 강남산맥, 멸악산맥 서부까지 이어져서 비슷한 생태적 특성을 나타낸다. 계절변동성을 의미하는 녹색(Green)의 남·북 차이와 동·서 차이는 온도(bio2), 강수량(bio7), 생산성(fpar)의 지역적 차이와 계절적 차이를 의미한다(bio4와 bio7). 한반도 북서쪽의 평야지대는 밝은 녹색이 주로 발현하고 재령평야, 평양평야, 안주·박천평야, 용천평야 등이다. 북부의 연백평야, 서부 해안지역, 그리고 동부 해안지역은 상대적으로 진한 녹색으로 발현한다. 한반도 남부의 평야지대는 북부지역보다 상대적으로 진한 녹색이 발현한다. 남한의 진한 녹색은 겨울철 온도(bio4), 겨울철 강수량(bio7), 온도(bio2), 강수량(bio6), 생산성(fpar)의 계절변동성이 북한과는 다르다는 것을 의미한다. 남한은 지리산 권역을 중심으로 남·서부 지역과 남·동부 지역이 유사한 칼라를 나타내서 대구권의 분지지역과 전라남·북도 평야지대는 유

사한 생태적 특성을 보인다. 습윤성을 대표하는 파란색(Blue)은 한반도 중부 이남의 태백산맥과 소백산맥을 따라 지리산 권역의 산악지대와 제주도를 중심으로 습윤한 지역의 특성이 파란색을 띤다. 태백산맥, 지리산 권역, 제주도는 여름철 강수량(bio8), 연평균 강수량(bio5), 토양수분 함유량 평균(sw_cov)이 서로 유사성을 나타내는 지역이다. 제주도와 울릉도는 파란색과 녹색이 지역과 고도에 따라 다르게 나타나서 섬 내에 다중 생태계가 존재한다.

3. 남·북 생태계 차이

남북 생태계의 차별성은 RGB칼라로 생성된 한반도 생태계를 남한과 북한의 경계파일로 분할하여, 한반도 생태계 모델링에 진입한 세계의 주성분 중 적재치가 적어도 하나는 > 0.5인 요인을 크기와 방향성이 나타나도록 (x, y)로 사분위 표에 산포하여 표현하였다(Figure 8).

PC1 중 사사분면에 분포하는 평균온도(bio1;

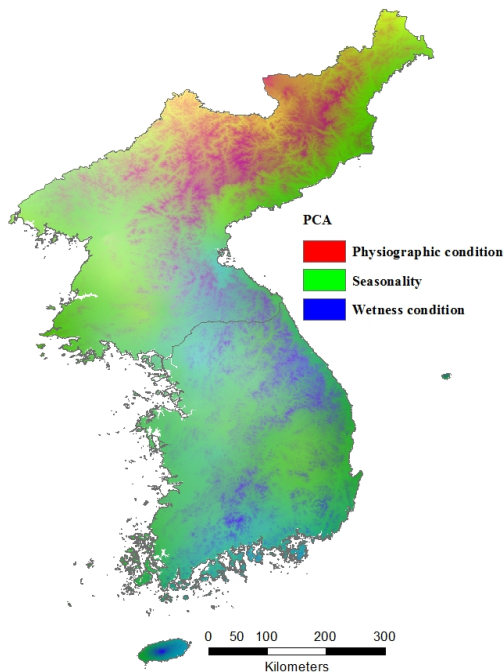


Figure 8. Ecoregion map of Korea constructed by Principal Component Analysis.

-.929, .942), 겨울철 온도(bio4; -.926, .907)는 남한과 북한에 크기는 유사하지만 방향은 반대로 작동하여 남한의 평균온도와 겨울철 온도는 상대적으로 높지만 북한은 상대적으로 낮다. 여름철 온도(bio3; -.786, .910) 역시 남한과 북한은 반대로 작동하고 남한의 여름철 온도가 높은 것 보다는 북한의 여름철 온도가 상대적으로 낮은 것이 더 크게 작동한다. 반면, 토양수분함유량 변동성(sw_cov; -.256, .909)은 남한은 사철 변화가 거의 없지만 북한은 계절에 따라 변화가 크고 편향적이다. 이사분면에 작동하는 고도(alt; .775, -.985)와 여름철 일사량(ss_mean; .690, -.970)은 방향이 다르고 북한에 더 크게 작동한다. 온도의 계절변동성(bio2; .633, -.506)은 남·북이 반대로 작동하지만 북한의 계절에 따른 온도 변동성이 남한보다 더 크게 작동한다. 일사분면에 분포하는 여름철 강수량(bio8; .721, .338)은 방향성은 같아서 남한과 북한 모두 여름철에 강수량이 편중되지만 남한이 북한보다 2배 이상 크다. PC2는 일사분면과 삼사분면에 주로 나타나서 남북에 동시에 유사하게 작동한다. 겨울철 강수량(bio7; .917, .926)은 남한과 북한 모두 낮다. 평균 강수량(bio5; .579, .841)은 상대적으로 북한이 더 크게 작동하고, 토양수분 함유량(sw_cov; .845, .546)은 상대적으로 남한에 더 크게 작동한다. 토양수분함유량 변동성(sw_cov; -.876, -.187)과 온도의 변동성(bio2; -.716, .439)은 남북이 대척 관계에 있지만 북한에는 변동성이 적은 것이 남한보다 편향적으로 크게 작동한다. 강수량 변동성(bio6; -.732, .227)은 남한이 낮은 것이 편향적으로 크게 작동한다. PC3의 일사분면에 분포하는 여름철(ss_cov)과 겨울철 일사량변동성(sw_cov)은 상대적으로 북한보다는 남한에 더 크게 작동하며 이것은 일사량모델이 지형의 영향을 받는 것에 기인한다. 강수량 변동성(bio6; .010, .738)은 북한이 큰 반면 삼사분면의 겨울철 일사량(-.934, -.055)이 적은 것은 남한에 편향적으로 작동한다.

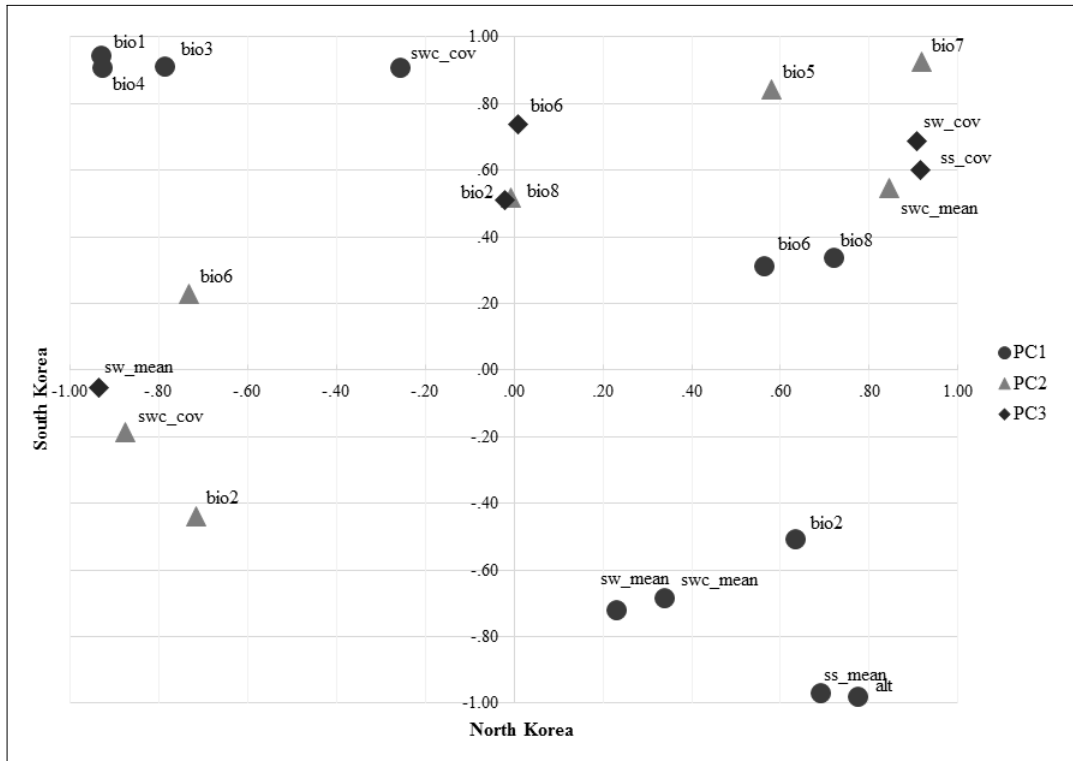


Figure 9. The first three principal component scores between South and North Korea.

4. 생태요인의 남·북 비교

연구에 사용된 17개 변수의 기술통계 차이를 비교하면 남한과 북한의 생태계에 작동하는 평균값의 차이를 가늠할 수 있다(Table 2). 첫 세 개의 주성분에 진입한 변수들을 중심으로 비교하면 남한과 북한의 고도차는 평균 약 2.3배이다. 남한의 평균 고도는 약 259m이고 북한의 평균 고도는 592m이다. 평균온도(bio1)에서 남한은 11.3°C이고, 북한은 5.8°C로 남한이 북한보다 약 2배 높다. 여름철 남한의 온도(228)는 북한(192)보다 약 3.6°C 높다. 그러나 겨울철 온도는 남한(-11)보다 북한(-92)이 약 8.1도 낮다. 온도의 계절변동성은 남한보다 북한이 23% 크지만 남한과 북한의 온도는 평균온도나 여름철 온도보다는 겨울철 온도 차이가 크게 작동한다. 평균 강수량(bio5)은 남한 1,320mm이고 북한 1,006mm이다. 여름철 강수량은 남한(699)이 북한(604)보

다 약 15% 많다. 겨울철 남한(100)의 강수량은 북한(50)의 강수량보다 2배 많다. 평균 강수량 최소값은 남한(948)보다 북한(546)이 약 42% 높지만 평균 강수량의 표준편차는 남한(148)보다 북한(200)이 26% 높다. 남한과 북한의 강수량 차이는 절대량 차이와 지역적 차이가 동시에 영향을 미친다. 토양수분함유량(SWC)의 평균은 남한(75)이 북한(58)보다 약 30% 높지만 표준편차는 북한이 남한보다 57% 크다. 토양수분함유량 계절변동성은 남한(6)이 북한(9)보다 약 30% 적다. 남한은 북한보다 토양수분함유량이 높고 계절변동성도 낮다. 생산성(fPAR)의 남(88)·북(50) 차이는 남한이 북한보다 약 57% 높고 계절변동성은 남한(31)이 북한(55)보다 약 56% 낮다. 생산성의 계절변동성에 대한 표준편차는 남(17)·북(16)이 유사하고 생산성 평균편차는 남한(69)이 북한(22)보다 3배 이상 크다. 여름과

Table 2. Descriptive difference between South and North Korea derived from variables.

Variables		Min	Max	Mean	Stdev
alt	sk	-9	1817	259	249
	nk	-46	2489	592	517
bio1	sk	23	160	113	19
	nk	-62	117	58	36
bio2	sk	6984	10504	9306	689
	nk	8619	13443	10964	900
bio3	sk	144	255	228	17
	nk	83	239	192	32
bio4	sk	-109	72	-11	27
	nk	-224	0	-92	45
bio5	sk	948	2137	1320	148
	nk	546	1544	1006	200
bio6	sk	23	106	77	11
	nk	64	112	94	9
bio7	sk	58	278	100	23
	nk	14	109	50	14
bio8	sk	419	1034	699	94
	nk	313	894	604	133
swc_mean	sk	75	100	92	4
	nk	58	100	89	7
swc_cov	sk	0	13	6	3
	nk	0	15	9	3
fpar_mean	sk	11	92	88	69
	nk	9	83	50	22
fpar_cov	sk	0	50	31	17
	nk	0	79	55	16
ss_mean	sk	1604	2053	1738	44
	nk	1611	2184	1795	93
ss_cov	sk	0	2	1	0
	nk	0	2	1	0
sw_mean	sk	140	556	341	31
	nk	143	645	362	50
sw_cov	sk	21	52	25	1
	nk	19	51	25	1

겨울철 일사량은 북한이 남한보다 크지만 일사량 표준편차는 북한이 남한보다 여름철에 2배 이상, 겨울철에는 62% 크다.

IV. 결론 및 토의

일반적으로 주성분 분석의 목적은 상관관계가 어느 정도 높은 데이터를 원래의 축을 이동하거나 회전시켜서 새로운 축이나 차원으로 재배열하는 것이다(Jensen, 2004). 그러나 본 연구에서는 차원을 축소하지 않고 모든 변수를 생태계 모델에 진입시켰다. 이유는 변량의 주성분을 RGB 칼라로 생성시켜서 생태계의 변동성(variability)을 시각적으로 설명하기 위함이다. 또한, 후속연구에서 지역 특성이 반영되도록 적정 생태지역을 분류하는 역할을 하고(Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008), 각종 자연환경계획에 필요한 생태 요인을 추출하는 역할도 수행한다.

RGB칼라로 구현된 한반도 생태계는 생태요인의 차이가 지역마다 독특한 칼라조합으로 발현되고, 칼라의 차이는 남·북 차이와 동·서 차이, 그리고 지역 간 차이를 보여준다. 빨간색은 고도, 온도, 일사량 등 '지문학적 특성'을 의미하고, 북부 고원지대에 발현한다. 녹색은 온도, 강수량, 생산성의 '계절변동성'을 의미하고 평야지대에 주로 작동하지만 남·북과 동·서 간에 차이가 있다. 파란색은 강수량과 토양수분 함유량 등 '습윤성'과 관계있고, 중부 이남의 산악지대에 주로 발현한다. 북부 산악지대의 빨간색은 남부 산악지대의 파란색과 시각적 연결성을 찾아보기 어렵다. 북부 백두산과 개마고원은 남부 태백산맥을 따라 지리산 권역까지 생태적으로 차별성을 보인다. 산림기후대 이론에서 북부 아한대 산림대가 태백산맥을 따라 남하하여 설악산, 지리산, 한라산의 고지대에 까지 남아 있다고 학계에 널리 퍼져있기 때문에 생태지역과 산림기후대에 관한 후속연구가 필요하다.

남한은 평균온도가 높고, 강수량이 풍부하고,

토양수분 함유량이 높아서 상대적으로 따뜻하고 습윤한 생태계이다. 북한은 고도가 높고 일사량이 풍부하지만 온도, 강수량, 토양수분 함유량이 상대적으로 낮아서 이들 변수와 관련된 계절변동성이 낮다. 북한과 같은 지문학적 특징을 가진 생태계는 울창한 침엽수림과 공중수분으로 유지되는 생태계이다(Bailey, 2005). 그러나 북한은 남한보다 강수량의 절대치가 낮고, 산림 황폐화로 인해 토양수분과 공중수분도 파괴되어 있기 때문에 북한은 춥고 건조한 생태계이며 남한보다 가뭄에 더 취약한 생태계이다.

남한과 북한은 한반도라는 물리적 공간을 공유하지만 작동하는 생태적 요인의 크기와 방향은 다르고, 북한에는 남한에서 경험하지 못한 생태적 특성이 넓게 분포한다. 따라서 남한에서 북한의 자연환경 관련 계획을 세울 경우, 경험론에 의지하기 보다는 정량적이고 공간적인 방법론을 통해 지역을 분석할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문에 사용된 공간 데이터는 2013년도 통일부의 북한 및 통일문제 신진연구학자 연구지원 사업의 지원을 받아 구축 되었습니다. 행간을 읽고 세심하게 지적하여 논문으로 이끌어 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

References

- Andrew, M. E. · Nelson, T. A. · Wulder, M. A. · Hobart, G. W. · Coops, N. C. and C. J. Q. Farmer. 2013. Ecosystem classifications based on summer and winter conditions, *Environmental Monitoring Assessment*, 185: 3057-3079.
- Bailey, R. G. 2005. Identifying Ecoregion Boundaries, *Environmental Management* 34(1): s14-s26.

- Bailey, R. G. · Zoltai, S. C. and E. B. Wiken. 1985. Ecological regionalization in Canada and the United States. *Geoforum* 116(3): 265-275.
- Coops, N. C. · Wulder, M. A. and D. Iwanicka. 2009. An environmental domain classification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment, *Ecological Informatics* 4: 8-22.
- Coops, N. C. · Wulder, M. A. · Duro, D. C. · Han, T. and S. Berry. 2008. The development of a Canadian dynamic habitat index using multi-temporal satellite estimates of canopy light absorbance. *Ecological Indicators*, 8(5): 754-766.
- Duro, D. C. · Coops, N. C. · Wulder, M. A. and T. Han. 2007. Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing in *Physical Geography*, 31: 1-26.
- Fitterer, J. L. · Nelson, T. A. · Coops, N. C. and M. A. Wulder. 2012. Modelling the ecosystem indicators of British Columbia using Earth observation data and terrain indices, *Ecological Indicators*, 20: 151-162.
- Franklin, J. 1995. Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography* 19(4): 474-499.
- Hargrove, W. W. and F. M. Hoffman. 2005. Potential of Multivariate Quantitative Methods for Delineation and Visualization of Ecoregions, *Environmental Management* 34(5): 1-21.
- Hargrove, W. W. and R. J. Luxmoore. 1998. A New High-Resolution National Map of Vegetation Ecoregions Produced Empirically Using Multivariate Spatial Clustering. Conference paper to be published electronically by Environmental Systems Research Institute, Redlands CA.
- Hargrove, W. W. · Hoffman, F. M. and B. E. Law. 2003. New analysis reveals representativeness of the Ameriflux Network, *EOS*, 84(48): 529-544.
- Hijmans, R. J. · Cameron, S. E. · Parra, J. L. · Jones, P. G. and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hirzel, A. H. · Hausser, J. · Chessel, D. and N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data. *Ecology* 83(7): 2027-2036.
- Jensen, J. R. 2004. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 3rd edition, New York: Pentice Hall.
- Kang, S. · Kim, Y. and Y. Kim. 2005. Errors of MODIS product of gross primary productivity by using data assimilation office meteorological data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 7(2): 171-183.
- Kumar, L. · Skidmore, A. K. and E. Knowles. 1997. Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *Int. J. Geogr. Info. Sys.* 11(5): 475-497.
- Mouratidis, A. · Briole, P. and K. Katsambalos. 2010. SRTM 3" DEM(version 1,2,3,4) validation by means of extensive kinematic GPS measurements: a case study from North Greece, *International Journal of Remote Sensing* 31(23): 6205-4222.
- Tansley, A. G. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology*, 16(3): 284-307.
- Volkoff, B. · Castro Mello, F. F. · Ferreira Maia, S. M. and C. E. Pellegrino Cerri. 2012. Landscape and soil regionalization in sour-

- thern Brazilian Amazon and contiguous area: methodology and relevance for ecological studies, *Scientin Agricola*, 69(3): 217-225.
- Williams, C. L. · Hargrove, W. W. · Liebman, M. and D. E. James. 2008. Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123: 161-174.
- Wulder, M. A. · Ortlepp, S. M. · White, J. C. · Nelson, T. and N. C. Coops. 2010. A provincial and regional assessment of the mountain pine beetle epidemic in British Columbia: 1999-2008. *J. Environ. Inform.* 15: 1-13.
- <http://www.cgiar-csi.org/>
<http://www.worldclim.org/>
<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/global-historical-climatology-network-ghcn>
<http://www.fao.org/home/en/>
https://www.wmo.int/pages/index_en.html
<http://www.r-hydronet.sr.unh.edu/english/>