

북한 산림경관복원 적용을 위한 한반도 생태지역 특성*

유재심 · 김경민

국립산림과학원 국제산림연구과

Ecoregional Characteristics of Korea for Application on Forest Landscape Restoration in North Korea*

Yu, Jaeshim and Kim, Kyoungmin

Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science.

ABSTRACT

The objectives of this study are to construct an ecoregion map and to extract ecological factors from each ecoregion to adapt FLR (Forest Landscape Restoration) of North Korea.

An ecological map was constructed by PCA(Principal Component Analysis) and MGC(Multivariate Geographical Clustering). An ANOVA test verified the differences among ecoregions, and post-hoc pair wise comparisons were performed to determine similarities between them. Factor analysis was conducted to extract ecoregional characteristics.

Ecoregions were distributed into clusters reflecting differences of south and north and of east and west of their ecological factors. About 12% of land area in North Korea shared similar ecological factors with South Korea, but the remaining 88% was found to be ecologically different. The ANOVA test showed a p-value of 0.000, indicating significant differences between the regions. Post-hoc pair wise comparisons indicated statistically significant similarities in annual mean temperature between ecoregion D and G, precipitation seasonality between ecoregion H and O, and precipitation of the warmest quarter between ecoregion K and O. Because ecoregion A and N showed same in their soil water contents, they were assumed that the dense of forest cover in the Southern ecoregion A is similar

* 본 연구는 2015년도 국립산림과학원 박사연구원십의 지원에 의해 이루어진 것임.

First author : Yu, Jaeshim, Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science,
Tel : +82-2-961-2899, E-mail : jaeshimy@hanmail.net

Corresponding author : Kim, Kyoungmin, Division of Global Forestry, National Institute of Forest Science,
Tel : +82-2-961-2892, E-mail : greenan@korea.kr

Received : 29 October, 2015. **Revised** : 3 December, 2015. **Accepted** : 15 December, 2015.

to that in the Northern ecoregion N of Korean peninsular.

Based on the results of this study, it is necessary to accommodate quantitative and spatial based planning, when South Korea aids forest restoration projects in North Korea. In addition, it is recommended for both South and North Korea to share on Forest Landscape Restoration methodologies with each other.

Key Words : *Ecological Restoration goal, Landscape Structure, Environmental asset, Ecological difference, Soil Water Contents.*

I. 서 론

세계적으로 자연환경 계획이나 관리를 위한 공간단위로 생태지역을 구분하여 사용하는 사례가 늘고 있다. 그것은 생태지역의 정의가 지역의 환경자산(Environmental asset)을 대변하고 경관구조(Landscape structure)를 내포하기 때문이다. 경관구조는 지상의 공간 패턴과 생태적 기능의 관계를 파악할 수 있는 자연 공간 위계로(Forman and Fodron, 1986), 산림경관복원(Forest Landscape Restoration; 이하 FLR)에서는 생태경관을 기반으로 복원계획을 한다.

FLR은 경관생태학과 생태복원의 개념을 융합하여 산지에 단순히 ‘나무심기’ 하는 것을 넘어 사회·경제적 가치를 창출하기 위해 제안된 방법론이다(Dudley et al., 2005). FLR 계획의 단위는 경관(Landscape)이지만, 경관의 위계는 나라마다 다르다.¹⁾ 미국의 CFLRP는 경관의 위계를 4단계로 분류하고(Level I ~ Level IV), 생태·경제·사회적 지속가능성 목표의 복원을 지향한다.²⁾ 캐나다는 국가와 10개 주에서 각각 Ecozone, Ecoregion, Ecodistrict의 공간 위계를

똑같이 적용하여 생태지역을 분류한다.³⁾ GIS (Geographical Information System) 자료의 구축이 충분하지 않은 국가의 FLR은 국제기구에서 제작한 범용 생태지역도를 활용한다. 남아메리카는 6개의 생태지역에서 FLR을 통해 복원사업을 진행하였으며(Newton et al., 2012), 아프리카는 5개 생태지역 별로 식량생산과 가난 저감을 목표로 FLR을 진행하였다(IUCN, 2005).⁴⁾ 우리나라의 공간 구분은 한반도 산림기후대(Good, 1947), 식물구계(Nakai, 1935), 식물지리구(Kong, 1989), Köppen 방법에 의한 기후구분, 기온과 강수량을 요인분석과 군집분석한 한반도 기후대(Kim, 1990) 등이 지도화 되었다. 정량적 연구는 환경공간변수를 이용한 생태지역 분류(Kim, 2004)와 남한의 생태권역 연구(Shin and Kim)가 있지만 공간 요소를 복원계획에 반영한 사례는 찾아보기 힘들다. 반면, 북한은 2012년 3월 「산림 및 경관복원에 관한 평양 국제 세미나」에서 북한 전역을 9개의 생태지역, 49개의 생태지구, 441개의 생태구역으로 세분하고, 산림의 황폐화를 3단계로 평가하여 복원계획에 반영한다고 발표하였다.⁵⁾

1) <http://www.forestlandscaperestoration.org/>

2) 농무성 산림국 Collaborative Forest Landscape Restoration Program(<http://www.fs.fed.us/restoration/CFLRP/>)

3) <http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/ecostrat/hierarchy.html>

4) 6개의 생태지역은 멕시코의 Oaxaca, Veracruz, Chiapas와 아르헨티나의 북부와 남부, 그리고 칠레의 중앙 지중해 지역이다. 정교한 생태지역도 구축이 어려운 나라는 GPFLR에서 제공하는 생태지역도를 참조함.

5) 북한은 지형, 기후와 토양을 바탕으로 공간을 구분하고, 지역마다 복원 방법을 다르게 적용한다고 발표함(국가

북한 산림 의제는 「산림 및 환경 분야」 남·북 협력 사업의 우선순위를 차지하지만 이에 대한 논의는 상대적으로 소홀한 측면이 있다. 산림복원 계획 및 방법론, 공간 자료의 구축과 지역 정보의 취득에 관한 논의가 필요할 때 이다.

본 연구는 북한에 FLR 방법론을 적용하기 위해 한반도 생태지역을 분류하고 각 생태지역 군집의 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 「산림 및 환경 분야」 남·북 교류나 개발·협력에 대비하기 위한 기초 연구로서, 다변량 주성분 분석을 통해 남·북 생태계 차이를 논의한 선행 연구(Yu and Kim, 2015)를 바탕으로 군집을 분류하고 각 지역의 특성을 파악하였다.

공간분석과 통계는 ENVI 5.1, ArcMap 10.3 과 SPSS version 21을 사용하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

1) 북한 FLR 요인

지역에 따른 수목의 생산성은 토양수분, 토양 유기질, 가용에너지와 지형에 기인한다(Fitterer et al., 2012). 지형은 온도, 수분 역동성과 식물의 구성에 결정적인 역할을 하고(Duro et al., 2007), 상대 고도에 따라 종의 분포를 결정하고(Poulos and Camp, 2010), 경관 설정의 기준이 된다(Song, 2014). 수목 분포에 대한 설명력은 지형 한 가지 변수를 사용한 모형보다는 기후인자와 결합한 모형에서 더 높았다(Tatsuhara and Antatsu, 2010). 건조한 환경에서는 고도에 따른 토질의 차이가 산림경관복원에서 제한요인이다(Zhou et al., 2008). 지역 내에서 어떤 식생이 더

잘 자라는지 관찰하기 위해서는 토양유기질에 대한 변수가 필요하다(Bailey, 2005). 그러나 유묘의 초기 활착 단계에서는 토양수분함유량이 더 중요하였다(Chen et al., 2010).

북한 산림의 좋지 않은 상황은 자연 상태에서 수목의 낮은 발아율과 생존율, 그리고 그것에 영향을 미치는 낮은 토양수분함유량과 비옥도이다.⁶⁾ 북한의 토양은 현재 생물량(Biomass)이 거의 파괴되어 유기질이 남아있지 않은 상태로, 2012년 「산림경관복원에 관한 평양 국제 세미나」에 참석했던 토양 전문가는 북한 산림 황폐지 복원 논쟁의 초점을 토양문제에 집중해야 한다고 제안하였다.⁷⁾

2) 변수 생성

북한 FLR을 적용하기 위한 필수 요인은 세미나에서 논의된 지형, 에너지, 수목의 분포, 기후 이외에 토양유기질과 토양수분함유량이다. 그러나 북한을 대상으로 연구는 목적에 부합하는 GIS 자료 획득에 한계가 있다. 따라서 구축과 구득 가능성을 고려하여, 지형, 온도, 강수량, 일사량(Solar Radiation), 식생의 생산성(Fraction of Photoynthesis Active Radiation), 그리고 토양수분함유량(Soil Water Contents) 변수를 선정하였다. 이와 관련하여 한반도 생태계의 주성분과 남·북 차이에 관한 선행연구는 총 17개의 변수를 사용하였다(Yu and Kim, 2015). 연평균 온도(bio1), 온도의 계절변동성(bio2), 여름철 평균온도(bio3), 겨울철 평균온도(bio4), 연평균 강수량(bio5), 강수량의 계절 변동성(bio6), 겨울철 3개월의 강수량(bio7), 여름철 3개월의 강수량(bio8), 토양수분함유량 평균(swc_mean), 토양

과학원 산림분원 산림경영학연구소 허만석). 북한은 2015년 현재 「산림복원 10개년 계획(2015-2024)」과 「림농복합경영 10개년 계획(2015-2024)」을 선포하고, 농·축·수산과 융합된 형태의 산림복원을 진행하고 있음.
6) 2012년 「산림경관복원에 관한 평양 국제 세미나」에서 박옥실(북한 농업과학 아카데미 산림관리연구소)과 백선식(토양과학연구소)이 각각 발표함.
7) SCIENCE, 2012(335): 1425-1426(www.sciencemag.com). Hardiman은 ‘북한의 토양은 과대하게 함유된 인의 양이 문제이며, 문제를 해결하기 위해서는 석회(Gypsum)나 탄산칼슘(Calcium carbonate) 등 영양 인자를 뿌려 주는 것이 산도를 중화시키는 가장 단순한 방법이고, 회복하는 데 적어도 10~15년은 걸린다.’고 예측함.

Table 1. Variables input to construct ecoregion of Korea and categories used to be 3 ranked with the average ecoregion value(Yu and Kim, 2015).

Variables		Categories		
		Low	Medium	High
alt	Elevation at spatial resolution, 1km	0-438	438-1050	1050-2589
bio1	Annual mean temperature	-62-44	44-95	95-160
bio2	Temperature seasonality(stdev*100)	6984-9542	9542-10860	10860-13443
bio3	Mean temperature of warmest quarter	83-172	172-213	213-255
bio4	Mean temperature of coldest quarter	-224~-101	-101~-32	-32-72
bio5	Annual precipitation	546-957	957-1245	1245-2137
bio6	Precipitation seasonality	23-75	75-91	91-112
bio7	Precipitation of driest quarter	14-64	64-101	101-278
bio8	Precipitation of warmest quarter	313-569	569-742	742-1034
swc_mean	Mean soil water contents	58-83	83-92	92-100
swc_cov	Soil water content seasonality	0-6	6-9	9-15
fpar_mean	Mean fraction of PAR	8-36	36-65	65-92
fpar_cov	Yearly fPAR seasonality	0-21	21-42	42-62
ss_mean	Mean solar radiation during summer	1659-1752	1752-1822	1822-2008
ss_cov	Cov. of summer solar radiation	0-10	10-17	17-23
sw_mean	Mean solar radiation during winter,	237-338	338-382	382-514
sw_cov	Cov. of summer solar radiation	20-24	24-32	32-52

bio = bioclimatic variables derived from the temp. and prec. Temperature ($^{\circ}\text{C} * 10$), Precipitation (mm).

수분함유량 변동성(swc_cov), 여름철 일사량(ss_mean), 여름철 일사량 변동성(ss_cov), 겨울철 일사량(sw_mean), 겨울철 일사량 변동성(sw_cov), 식생의 생산성 평균(fPAR_mean), 식생의 생산성 변동성(fPAR_cov), 그리고 상대 고도 변수(alt)로 SRTM을 사용하였다(Table 1).

SWC는 Cgiar에서 제공하는 범용 지수 모델로, 100에 가까우면 토양수분 함유량이 높고 식생이 양호한 산림 지역이다. SWC가 0을 향해 가까우면 토양수분이 메마른 도시화 지역, 경작이 끝난 농경지나 개벌지이다(Fitterer et al., 2012; Andrew et al., 2013). fPAR은 0에서 1의 값을 갖고, 추정치가 0에 가까우면 광합성 활동이 거의 없는 나지, 시가지, 설경(Snow cover

landscape)을 의미하고, 추정치가 1에 가까우면 밀도가 높은 식생피복이다(Coops et al., 2008).

2. 생태지역 분석

1) 지리적 군집방법

한반도 생태계 주성분을 RGB로 표현했을 때, 북부 지방은 높은 고도, 낮은 온도와 강수량의 지문학적 특성이 빨간색으로 나타나고, 남부 지방은 상대적으로 습윤함이 파란색으로 발현하였다. 서부 지방과 동부 해안 지방은 강수량, 온도, 생산성, 토양수분 등 한반도 생태계 모델에 진입한 변수들의 계절 변동성이 녹색으로 작동하였다(Figure 1). 한반도 생태계 모형을 경험적 군집 방법인 k -평균 반복 알고리즘을 사용하여

군집을 분류하였다. k 평균 군집은 지리정보시스템에서 이차원 지리공간과 다차원 데이터 공간 사이에 가역적 변환이 이루어지기 때문에 지리적 군집방법(MGC)로 불린다(Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008; Kumar et al., 2011). 객체들은 군집의 중심 값 C 를 임의로 추출하고, 나머지 객체들은 유클리디안 거리가 가장 가깝다고 기대되는 $\{m_1, \dots, m_k\}$ 군집에 할당된다. 그런 후 각 군집 내에서 거리를 최소화 하는 새로운 중앙 $C_{(i)}$ 를 구해서 임계 값 혹은 기준함수가 수렴할 때까지 위의 과정을 반복한다(Eq. 1).

$$\min_{c, m_k} k \sum_{k=1}^k \sum_{c(i)=k} \|x_i - m_k\|^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

$k=15$ 를 입력한 것은, 국립산림과학원에서 제작한 남한의 5개 생태권역(Shin and Kim, 1996), 북한이 사용하고 있는 9개의 생태지역, 그리고 남·북이 공유하는 생태지역의 가능성을 고려하여 경험적 $k=15$ 를 입력하였다. 각 생태지역은 남쪽부터 북쪽 방향으로 알파벳 기호를 붙인 후, 행정구역도, 유역도, 지형도를 중첩하여 지리적 분포를 기술하였다.

2) 유사성과 차별성 검증

ANOVA는 어떤 생태지역에 진입된 변수의 평균 중 적어도 하나는 다른 생태지역 변수의 평균과 통계적으로 다르다($p \text{ value} < 0.001$)는 것을 확인하는 경험적 방법이다(Auh and Choi, 2003). $k = 15$ 의 생태지역 각 군집의 평균이 적어도 하나는 통계적으로 차이가 있는지 one-way ANOVA, homogeneity of variance test 하였다(Field, 2009).

집단 간 평균제곱을 집단 내의 평균제곱으로 나누어서 생성된 Levene 통계량($f \text{ statistics}$)이 유의수준 95%를 넘으면, 각 생태지역은 통계적으로 유사성을 나타낸다($p\text{-value} > 0.05$). 그러나 각각의 군집이 통계적으로 동일하지 않으면

($p = 0.000$), 차별성을 확보한 생태요인은 등분산을 가정하지 않는 Dunnett T3 방법으로 사후 다중 비교하여, 집단 간에 유사성을 비교하였다($p\text{-value} > 0.05$)(Table 2).

3) 생태지역 특성 도출

생태지역의 통계적 의미는 군집 내에 진입한 요인의 평균 차에 의해서 각 군집 간에는 차별성이 나타나고 군집 내에서는 유사성이 존재한다는 것이다(Fitterer et al., 2012). 유사성과 차별성을 확보한 생태지역의 특징은 생태지역에 진입한 요인 평균과 한반도 요인 평균 차이를 비교하여 설명하였다.

요인분석(Factor analysis)을 통해 각 생태지역에 진입한 주요인의 평균값(E_mean)과 한반도 평균값(K_mean)의 차이를 계산하였다(Eq. 2). 남한과 북한에 나타나는 군집의 주요 특성이 서로 비교 되도록 남한에 나타나는 생태지역(Table 3; Table 4)과 북한에 나타나는 생태지역(Table 5; Table 6)을 분리하여 기술하였다.

$$\text{Difference} = \text{E_variable mean} / \text{K_variable mean} \quad (\text{Eq. 2})$$

III. 결과 및 고찰

1. 생태지역 지리적 분포

1) 한반도 생태지역도

한반도 생태지역 중 군집 내에서 생태요인을 서로 공유하지만 지리적으로 격리가 나타나는 생태지역은 각각 C, G, K, L과 M이다(Figure 2). 생태지역 경계는 연속적이지만 군집이 지리적으로 격리되어 나타나는 것은 다변량 정량적 생태지역화 기법이 변수에 대한 전문가의 편향된 가중치를 허용하지 않기 때문에 나타나는 특징이다. 따라서 정량적 생태지역은 행정구역이나 관리지역과 구별된다(Hargrove and Hoffman, 2005). 남한과 북한이 공간을 공유하는 생태지역은 각

각 B, D, E, F, H이고, 북한 면적의 약 12%이다. 북한에만 나타나는 생태지역은 C, G, I, J, K, L, M, N, O이고, 북한 면적의 약 88%이다. 북한 면적의 약 12%는 통계적으로 남한과 유사한 생태적 특성이 나타나지만 나머지 88%의 면적은 통계적으로 남한과 생태적 특성을 공유한다고 말할 수 없는 지역이다.

2) 지리적 분포

생태지역 A는 제주도과 남해안 도서지방, 부산 남부와 포항을 거쳐 동해안 강릉까지 길게 이어진다. 생태지역 B는 서해안 영광에서 동쪽으로 이동하여 대구와 부산 사이로 북한의 강원도 고성까지 연결된다. 생태지역 C는 장산반도에 군집을 형성하고, 강원도 북부에서 함경북도 청진시까지 해안을 따라 군집이 격리되어 나타난다. 생태지역 D는 지리산과 태백산 권역을 중심으로, 남한의 산악지역에 국한되어 나타난다. 생태지역 E는 태백산맥을 중심으로 영서산간

지역에 속한다. 생태지역 F는 서해안 영광에서 태안반도까지 북상하고, 대구를 중심으로 평야 지대를 절구 공이가 누운 모양으로 잇고 있다. 강원도 북쪽의 통천군과 안변군, 황해남도 웅진군과 수의군에 지리적 격리현상이 나타난다. 생태지역 G는 황해남도 청단군에서 남포까지 남·북을 잇는 군집과 함경남도 함주군과 함흥군, 그리고 라진·선봉지역에 지리적으로 격리되었다. 생태지역 H는 한반도 중앙을 차지하고, 북쪽의 경계는 강원도와 황해북도 남부 지역으로 제한되고, 함경남도 천내군과 금야군을 포함한다. 생태지역 I는 내륙지역으로, 강원도, 함경남도, 양강도, 자강도, 평안북도, 평안남도, 황해북도 일부를 포함하여 군집을 형성한다. 생태지역 J는 함경 남·북도의 해안을 제외한 내륙 산간으로, 경사지를 따라 동·서로 길게 형성되었다. 생태지역 K는 신의주평야에서 재령평야까지 군집이 형성되고, 함경북도 은덕군에 지리적으로 격리되었다. 생태지역 L은 신의주 북부에

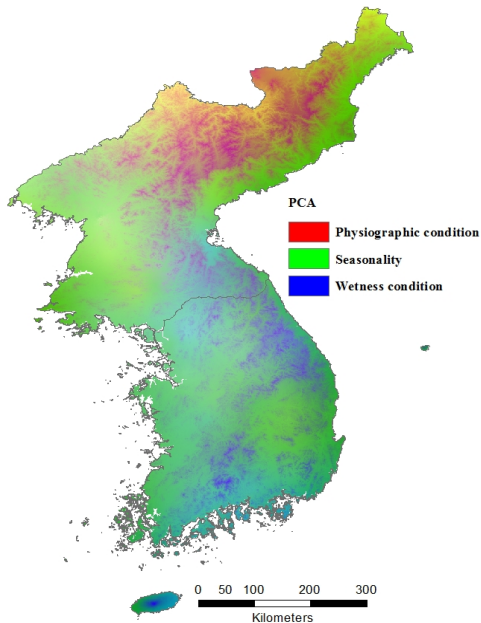


Figure 1. Ecosystem of Korea constructed by Principal Component Analysis(Yu and Kim, 2015).

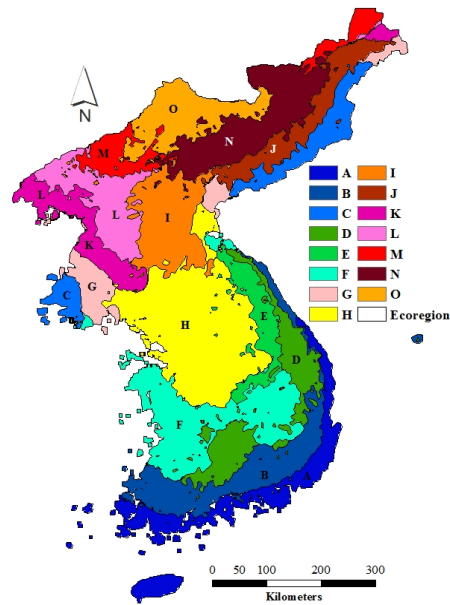


Figure 2. Geographical distribution of ecological region, $k = 15$.

서 회천시를 거쳐 황해북도 름산시까지 남북으로 하나의 군집을 형성하고, 함경북도 경원군과 온성군에 군집이 격리되어 나타난다. 생태지역 M은 평안남도 덕천, 신양, 숙천에서 평안북도 대관군과 동창군, 자강도 회천시에서 위원군까지 경계를 형성하고, 함경북도 온성군에서 양강도 대흥단까지 두만강을 따라 지리적 격리가 나타난다. 생태지역 N은 백두산, 백무고원, 개마고원, 평서 개석고원, 부전 장진고원을 이루고, 대흥단군, 삼지연군, 연사군에서 함경남도 부전군과 장진군을 거쳐 평안남도 대흥군까지 고원을 형성한다. 생태지역 O는 양강도 혜산에서 자강도 위원군까지, 성림군과 랑림군을 경계로 삼각형 모양을 형성한다(Figure 2).

2. 생태지역 차별성과 유사성

1) 생태지역의 차별성

생태지역 군집 $k = 15$ 에서, 각 생태지역 군집별 변수 값에 대한 일원변량분산분석(one-way ANOVA)의 F 통계량과 유사성 검정(test of homogeneity variance)의 Levene 통계량은 모든 생태지역의 각 군집 간 평균에 차이가 있었다

($p\text{-value} = 0.000$). $k = 15$ 의 모든 군집에 대하여 적어도 하나의 생태지역 평균은 다른 생태지역 평균과 달랐다($p\text{-value} = 0.000$).

2) 생태지역의 유사성

Levene 통계량이 변량 간에 차이가 있으므로 ($p\text{-value} < 0.001$), 등분산을 가정하지 않는 *Dunnnett T3* 사후 검정의 각 변량 간 쌍별 비교를 하여 통계적 유사성을 추론하였다(Table 3). 생태지역 D와 G는 연 평균온도가 다르지 않았다. 남한의 영동지역과 북한 연백평야의 연평균 온도가 통계적으로 유사하였다. 생태지역 D와 E는 태백산맥을 분수령으로 영동지역과 영서지역의 연평균 강수량은 유사하다. 생태지역 H와 O는 강수량의 변동성이 유사하고, 생태지역 K와 O는 여름철 강수량의 평균이 다르지 않았다. 산악 생태지역 O는 평야 생태지역 K와 여름철 강수량이 낮은 것이 통계적으로 유사하였다. 생태지역 A와 N은 토양수분함유량 평균이 유사하였다. 한반도 남단 생태지역 A와 북쪽 고원 생태지역 N은 토양수분함유량이 통계적으로 유사하여 산림피복이 유사한 것으로 추론하였다. 남

Table 2. Dunnnett T3 post hoc test for unequal variance and samples sizes.

Eco-region	Variable	Region	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
E15	bio1	D and G	0.1	0.2	1.0	-0.6	0.7	
	bio5	D and E	-0.9	1.2	1.0	-4.5	4.4	
	bio6	H and O	-0.1	0.0	0.9	-0.2	0.1	
	bio7	K and O	0.0	0.1	1.0	-0.3	0.2	
	swc_mean	A and N	0.0	0.0	1.0	-0.1	0.1	
	ss_mean	M and D	D and M	0.8	0.5	1.0	-1.0	2.5
			D and M	0.3	0.5	1.0	-1.4	1.9
		F and G	F and G	-0.3	0.2	1.0	-0.9	0.3
			F and K	-0.1	0.1	1.0	-0.6	0.5
	sw_mean	J and O	0.2	0.5	1.0	-1.8	2.1	

The mean difference is significant at the 0.05 level

한의 생태지역 D와 북한의 생태지역 M은 여름철 일사량이 유사하고 겨울철 일사량도 유사하다. 생태지역 F와 G, 생태지역 F와 K, 그리고 생태지역 J와 O는 겨울철 일사량이 유사하였다. 이것은 지형의 영향을 많이 받는 일사량 모델(Kumar et al., 1997)의 특성이 작용한 것으로 판단된다. 그밖에 다른 변수들의 평균값은 생태지역 간에 적어도 통계적으로는 유사하다고 말할 수 없었다(p -value < 0.05).

3. 지역별 특성

1) 남한의 생태지역

생태지역 A는 겨울철 온도(bio4=3.03)가 한반도 평균 보다 3배 이상 높고, 겨울철 강수량(bio7=1.88)이 한반도 평균보다 약 1.9배 높다. 연평균 온도(bio1=1.68), 여름철 온도(bio3=1.14)가 높고, 연중 온도의 변동성(bio2=0.78)과 강수량의 변동성(bio6=0.70)이 가장 낮은 특성이 있다(Table 4). 생태지역 B는 겨울철 온도(bio4=3.03)가 한반도에서 두 번째로 높고, 연 평균 온도(bio1=1.61), 겨울철 강수량(bio7=1.52), 여름철 온도(bio3=1.37), 토양수분함유량(swc_mean=1.02)이 평균보다 높았지만 강수량 변동성(bio6=0.81)은 두 번째 낮은 특성이 있다(Table 5). 생태지역 D는 겨울철 온도(bio3=1.54)가 한반도 평균보다 1.5배 높고, 연평균 강수량(bio5=1.27)은 한반도에서 가장 높다. 연평균 온도(bio1=1.20), 여름철

온도(bio3=1.02), 여름철 강수량(bio8=1.18)이 한반도 평균보다 높은 특성이 있다. 생태지역 E는 여름철 강수량(bio5=1.27)이 한반도에서 가장 높고, 겨울철 온도(bio4=1.10), 토양수분함유량(swc_mean=1.05), 여름철 일사량(ss_mean=1.02)은 한반도 평균보다 높고, 연평균 온도(bio1=0.99), 여름철 온도(bio3=0.97)는 낮은 특성이 있다. 생태지역 F는 여름철 온도(bio3=1.15)와 평균 강수량(bio5=1.12)이 한반도 평균보다 높고, 토양수분함유량(swc_mean=0.99)과 토양수분 변동성(swc_cov=0.99)이 한반도 평균보다 낮은 특성이 있다. 생태지역 H는 겨울철 온도(bio4=3.03), 연평균 온도(bio1=1.29), 여름철 온도(bio3=1.02), 겨울철 강수량(bio7=1.08)과 강수량의 변동성(bio6=1.08)이 한반도 평균보다 높고, 평균고도(alt=0.46)가 두 배 이상 낮은 특성이 있다.

2) 북한의 생태지역

생태지역 C는 겨울철 평균온도(bio4=1.37)가 한반도 평균보다 높지만, 여름철 일사량(ss_mean=0.97), 여름철 온도(bio3=0.96), 연평균 강수량(bio5=0.70), 토양수분함유량(swc_mean=0.88), 연평균 강수량(bio5=0.70)이 한반도 평균보다 낮고, 특히 고도(alt=0.39) 차이가 큰 특성이 있다. 생태지역 G는 연평균 온도(bio1=1.2)와 여름철 온도(bio3=1.06)는 한반도 평균보다 높지만, 토양수분함유량(swc_mean=0.94)과 여름

Table 3. Main factors of ecoregion A.

Variables	E15_A		
	A mean	Korea	Difference
bio3	235	206	1.14
bio1	134	80	1.68
bio4	29	-59	3.03
bio7	128	68	1.88
bio2	8028	10273	0.78
bio6	60	87	0.70

Table 4. Main factors of ecoregion B.

Variables	E15_B		
	B mean	Korea	Difference
bio1	128	80	1.61
bio4	12	-59	2.20
bio3	236	206	1.15
bio7	104	68	1.52
bio6	70	87	0.81
swc_mean	92	90	1.02

Table 5. Principle factors of ecoregion J.

Variables	E15_J		
	J mean	Korea	Difference
bio3	168	206	0.82
bio1	40	80	0.51
swc_cov	8	8	1.06
bio4	-101	-59	-1.71
bio5	792	1103	0.72
bio8	446	634	0.70

철 강수량(bio8=0.9)은 낮고, 특히 식생의 생산성(fpar_mean=0.7)이 낮은 특징이 있다. 생태지역 J는 여름철 강수량(bio8=1.20), 토양수분함유량(swc_mean=1.18), 연평균 강수량(bio5=1.09)이 한반도 평균보다 높고, 토양수분함유량 변동성(swc_cov=1.12)도 높다. 반면, 여름철 온도(bio3=0.98)와 연평균 온도(bio1=0.81)는 한반도 평균보다 낮은 특징이 있다. 생태지역 J는 토양수분변동성(swc_cov=1.06)이 한반도 평균보다 높으나, 여름철 온도(bio3=0.82), 연평균 온도(bio1=0.51), 연평균 강수량(bio5=0.72)과 여름철 강수량(bio8=0.70)이 모두 낮고, 겨울철 평균온도(bio4=-1.71)는 더 낮은 특징이 있다(Table 5). 생태지역 K의 강수량 변동성(bio6=1.17)은 한반도 평균보다 높지만 여름철 강수량(bio8=0.95), 평균 강수량(bio5=0.88), 토양수분함유량(swc_mean=0.93), 겨울철 강수량(bio7=0.59)과 생산성(fPAR_mean=0.59)모두 낮은 특징이 있다. 생태지역 L은 연평균온도(bio1=1.05), 여름철 온도(bio3=1.03), 여름철 강수량(bio8=1.07), 토양수분함유량 변동성(swc_cov=1.07)이 한반도 평균보다 높지만 토양수분함유량(swc_mean=0.97)과 겨울철 온도(bio4=-1.20)는 낮다. 생태지역 M은 여름철 일사량(ss_mean=1.01)이 한반도 평균과 유사하지만, 연평균 강수량(bio5=0.86), 여름철 강수량(bio8=0.92), 겨울철 강수량(bio7=0.55)과 양수분함유량(SWC_mean=0.95)이 낮고, 겨

Table 6. Principle factors of ecoregion N.

Variables	E15_N		
	N mean	Korea	Difference
bio1	0	80	0.01
ss_mean	1952	1768	1.10
bio3	141	206	0.69
alt	1453	437	3.33
bio4	-156	-59	-2.64
bio5	936	1103	0.85

울철 온도(bio4=-1.83)는 더 낮다. 생태지역 N의 고도(alt=3.33)는 한반도 평균보다 3.3배 높고 여름철 일사량(ss_mean)이 높다. 그러나 연평균 온도(bio1=0.01), 여름철 온도(bio3=0.69), 평균강수량도 낮다(bio5=0.85)은 낮고, 겨울철 온도(bio4=-2.64)는 더 낮은 생태계이다(Table 6). 생태지역 O는 고도alt=2.13)가 두 번째로 높고 여름철 일사량(ss_mean=1.05)도 높다. 그러나 연평균 온도(bio1=0.33), 여름철 온도(bio3=0.86), 여름철 강수량(bio8=0.89)이 낮고, 겨울철 온도는 두 번째로 낮은(bio4=-2.48) 특징이 있다.

IV. 결론

남·북 간에는 통계적으로 평균온도(D와 G), 강수량의 변동성(H와 O), 토양수분함유량(A와 N), 일사량이 유사한 생태지역이 존재하였다. 일사량 이외에, 남한의 생태지역 D와 E 간에는 평균 강수량, 북한의 생태지역 K와 O 간에는 겨울철 강수량이 유사하였다. 생태지역 A와 생태지역 N의 토양수분함유량이 유사한 것은 고원지대인 생태지역 N의 산림이 한반도 남부 생태지역 A만큼 울창한 것을 의미한다. 생태지역 C, G, K, L, M의 지리적 격리현상은 생태지역 경계는 연속적이지만 유사한 군집이 지리적으로 격리되어 나타나는 선행연구와 유사하였다(Loveland and Merchant, 2004; Fitterer et al.,

2012). 이들 군집은 지리적으로 격리되었지만 생태요인의 속성은 유사하므로 유사한 복원방법을 적용할 수 있다. 한반도 각 생태지역에 진입한 요인 중에서, 평균고도(alt=437)는 생태지역 N(3.33), 생태지역 O(2.13) 순으로 높았다. 겨울철 강수량(bio7=68)은 생태지역 K(0.59)와 M(0.55)의 순으로 낮았다. 겨울철 평균온도(bio4=-59)는 생태지역 N(-2.64)과 생태지역 O(-2.49)의 순으로 낮았고, 토양수분함유량 평균은 생태지역 C(0.88)가 가장 낮고, 식생의 생산성은 생태지역 L(0.59)과 G(0.77)의 순으로 낮았다. 겨울철에 가장 건조한 지역은 생태지역 K와 M이고, 생태지역 C는 토지피복이 낮은 산지임을 추정할 수 있다. 남한에 분포하는 생태지역은 한반도 평균보다 높은 온도, 강수량과 토양수분함유량이 지역의 특성을 결정짓고, 북한에 분포하는 생태지역은 한반도 평균보다 낮은 온도, 강수량, 토양수분함유량과 생산성이 특성을 결정하였다. 남한과 북한이 공유하는 생태지역은 북한 면적의 약 12%이고, 북한 면적의 약 88%는 남한과 유사한 요인이 존재하지만, 통계적으로 남한과는 다른 생태적 특성을 나타낸다.

따라서 북한의 산림복원 계획을 세울 경우, 남한의 경험론에 의존하기보다는 지역마다 요인 특성을 고려하여 각기 다른 복원 방법을 모색해야 한다. 같은 맥락에서 북한에만 나타나는 9개 생태지역, 지리적 격리가 나타나는 5개의 생태지역, 남한과 공유하는 경기도 북부지역(H)과 동해안의 생태지역(B, D, E, F)등을 따로 묶어서 관리지역 별로 복원계획을 수립하는 방법도 고려해 볼 수 있다.

References

- Andrew, M. E. · T. A. Nelson · M. A. Wulder · G. W. Hobart · N. C. Coops and C. J. Q. Farmer. 2013. Ecosystem classifications based on summer and winter conditions, *Environmental Monitoring Assessment*, 185: 3057-3079.
- Auh TS and Choi HC. 2003. *Quantitative Analysis of Social Sciences Data*, NANAM Publishing house, Seoul. Korea
- Bailey, R. G. 2005. Identifying Ecoregion Boundaries, *Environmental Management* 34(1): s14-s26.
- Chen, L. · J. Wang · W. Wei · B. Fu and D. Wu. 2010. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management*, 259: 1291-1298.
- Coops, N. C. · M. A. Wulder · D. C. Duro · T. Han 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.
- Dudley, N. · J. Morrison. · J. Aronson and S. Mansourian. 2005. Why do We Need to consider Restoration in a Landscape Context? in *Forest Restoration in Landscape: Beyond Planting Trees*, Springer, London.
- Duro, D. C. · N. C. Coops · M. A. Wulder 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. · T. A. Nelson · N. C. Coops and M. A. Wulder. 2012. Modelling the ecosystem indicators of British Columbia using Earth observation data and terrain indices, *Ecological Indicators*, 20: 151-162.
- Field, A. 2009. *discovering Statistics using SPSS*. Sage, London.
- Forman, R. T. T. and M. Gordron. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Good, R. 1947. *The Geography of Flowering*

- Plants, Longman Green.
- 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.
- IUCN, 2005. Restoring Forest Landscapes: An introduction to the art and science of forest landscape restoration. Technical Series 23.
- Kim, Y. M. 1990. Climatic classification of Korea by factor analysis, *Geography* 25(1): 49-56.
- Kim, W. J. 2004. Ecoregion classification in Korea based on analysis of geospatial variables, Doctoral thesis, Seoul National University.
- Kong, W. S. 1989. The biogeographic divisions of Korea and their species composition, *Geography* 40: 43-54.
- Kumar, L. · A. O. Skidmore. · K. B. Moodie and E. Knowles. 1997. Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *Int.J. Geogr. Inform. Sci.* 11: 475-497.
- Kumar, J. · R. T. Mills. · F. M. Hoffman and W. W. Hargrove. 2011. Parallel k-means clustering for quantitative ecoregion delineation using large data sets, *Procedia Computer Science*, 4: 1602-1611.
- Loveland, T. R. and J. M. Merchant. 2004. Ecoregions and ecoregionalization: geographical and ecological perspectives, *Environmental Management*, 34(1): 1-13.
- Nakai, T. 1935. Notulae ad plantas Japoniae XXVI in *Bot. Mag. Tokyo* 36; 20-26.
- Newton, A. C. · R, F/ Castillo. C. Echeverria. · D. Geneletti. · Gonzalez-Espinosa. · L. A. Malizia. A. C. Premoli. · J. M. Rey Benayas. · C. Smith-Ramirez and G. Williams-Linera. 2012. Forest Landscape Restoration in the Drylands of Latin America. *Ecology and society* 17(1): 21
- Poulos, E. M. and A. Camp. 2010. Topographic influences on vegetation mosaics and tree diversity in the Chihuahuan Desert Borderlands. *Ecology*, 91(4): 1140-1151.
- Shin, J. H. and C. M. Kim. 1996. Ecosystem classification in Korea(I): Ecoprovince Classification. *FRI. Journal of Forest Science* (54): 188-199.
- Song, W. K. 2014. Suggestion of the relative elevation analysis methods for conservation of local topography: Focused on analysis range. *J. Korean Env. Res. Tech.* 17(5): 19-28.
- Tatsuhara, S. and Y. Antatsu. 2010. Predicting the spatial distribution of major species composition in secondary hardwood forests on Mt. Gozu, central Japan, based on environmental factors. *J For Res*(2010) 15: 347-357.
- Williams, C. L. · W. W. Hargrove. · M. Liebman and D. E. James. 2008. Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123: 161-174.
- Yu, J. S. and J. M. Kim. 2015. Principal Component Analysis based Ecosystem Differences between South and North Korea using Multivariate Spatial Environmental Variables. *J. Korean Env. Res. Tech.*, 18(4): 15-27.
- Zhou, P. · O. Luukkanen · T. Tokola and J. Nieminen. 2008. Vegetation Dynamics and Forest Landscape Restoration in the upper Min River Watershed, Sichuan, China. *Restoration Ecology*, 16(2): 348-358.