creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학박사학위논문

북한 산림경관 생태적 복원모형 개발

Ecological Restoration Modeling of Forest Landscape in North Korea

2014년 1월

서울대학교 대학원

협동과정 조경학 전공

유 재 심

초록

전 세계적으로 생물다양성, 기후변화, 주민의 생계, 수자원의 질에 관한 의제가 대두되면서 육지면적의 약 31%를 차지하고, 이중 약 20%가 훼손된 산림경관은 잠재복원대상지로서 '기회의 경관'이 되었다.

북한은 국토면적 122,563㎢ 중 약 80%가 산지이고 75%가 산림이었다. 그러나 현재 세계 3대 산림 황폐지역이 되었다. 1995년부터 시작된 '고난의 행군' 동안 경작지 전용과 에너지원으로 산림면적의 약 30%가 훼손되었다. 이 후 북한 산림황폐지 복원은 세계적인 관심사가 되었다. 스웨덴은 용재림에 생태적 통합 시스템 적용을 목표로 북한에 재조림 사업을 하고 있다. 스위스와 ICRAF는 북한과 협력하여 황해북도에 산림농업을 목표로 산림황폐지 복원사업을 진행하고 있다. 북한 스스로도 산림복원이 인민의 삶의 질과 경제안정에 영향을 미친다고 평가한다. 그래서 북한 전역을 9개의 생태지역, 49개의 생태지구, 441개의 생태구역으로 분류하고 황폐화의 정도를 3단계로 평가하여 복원방법을 적용하고 있다.

우리나라에서도 70년대 남한의 성공적 조림 경험을 북한 전역에 이식하는 것에 관심을 보였다. 속성수와 경제수종 중심의 조림과 사방사업을 병행하여 사면안정 계획을 하고 있다. 학계에서는 북한 산림황폐지에 AR/CDM 혹은 REDD를 적용하려는 연구가 있다. 그러나 남한의 북한에 관한 논의는 황폐지 면적을 단순히 독립변수로 상정하여 전역적이고 정성적인 '나무심기'의 개념을 벗어나지 못하는 한계가 있다.

본 연구는 북한의 산림황폐지 복원에 경관생태학적 방법과 생태복원 원리를 통합하여 산림경관복원 모형을 생태지역 수준에서 개발하는 것을 목적으로 한다. 경관생태학은 공간위계를 설정하고 황폐지를 분석하여 복원에 필요한 환경정보를 추출하는 방법을 제공한다. 생태복원은 잠재

복원대상지의 미래 추구하는 가치를 복원목표로 설정하여 계획을 시행하는 방법을 제공한다. 산림경관복원 모형은 다음 세 가지 이유로 목표 지향적 복원을 추구한다. 첫째, 기후변화, 토지이용변화, 자생종의 변화 등 경관의 비가역적 상황으로 자연을 원래 상태로 되돌리는 '복구'에 더 이상 의미가 없다. 둘째, 생태복원은 생태계 기능과 구조안정을 통해 사회·경제적 가치를 추구하는 개념이다. 셋째, 목표를 수반하지 않는 복원은 미래에 성공과 실패 여부를 평가할 수 있는 기준도 없기 때문이다.

북한 산림경관의 생태적 복원모형은 세 가지 모델링 과정과 방법으로 개발되었다. 첫째, 북한의 생태적 특징과 복원 요인을 도출하기 위해 한반도 생태지역을 유형화 하였다. 주성분 분석을 통해 남한과 북한의 생태계 차이를 확인하였다. k 평균 군집방법으로 한반도를 15개의 생태지역으로 분류하였다. 15개 생태지역 간 차별성은 ANOVA test로 확인하였다. 지역 간 유사성은 등분산을 가정하지 않는 post hoc pair wise comparison으로 비교하였다. 남한의 생태지역에 서식하는 자연식생을 확인하여 북한의 생태지역 타당성을 확보하였다. 지역분류에 관한 선행연구 결과와 비교하여 생태지역의 타당성을 설명하였다. 생태지역은 지역의 독특성을 담도록 명명되었다. 둘째, 1989년에서 2008까지 산림변화 통계량을 분석하여 공간적 잠재복원대상지를 탐지하였다. 이 기간 동안 북한 산림황폐지 변화 양상은 Morans' I지수로 확인하였다. 북한의 잠재복원대상지와 생태지역을 이항 로지스틱 회귀분석 방법으로 산림이 황폐지로 변한 생태적 요인을 파악하였다. 환경인자를 이용하여 생태지역 별 경관정보를 추출하였다. 북한의 생태지역별 우점식생과 조림추천수종을 조사하여 적지적수표를 제작하였다. 셋째, 전문가 설문을 실시하여 생태지역별로 복원목표를 선정하였다. 사례연구에서 도출한 6가지 복원목표 대안과 복원요인 정보를 전문가들에게 제공하여 전문가들이 생태지역별로 복원목표를 선정하도록 하였다.

결과는 다음과 같다. 남한과 북한의 생태계는 주성분에서 서로 큰 차이가 있었다. 북한의 생태계는 높은 고도와 낮은 온도의 지문학적 특성과 건조함의 정도가 지배하였다. 남한의 생태계는 강수량과 토양수분 함유량이 상대적으로 높아서 습윤함의 정도가 지배하였다. 북한 면적의 약 12%는 남한과 유사한 생태적 특성을 보였다. 북한 면적의 약 88%는 남한에서 경험할 수 없는 생태적 특징을 나타냈다. 남한의 성공적 조림과 조기녹화 경험을 단순히 북한에 적용하는 것에는 생태적으로 문제가 있음을 의미한다. 남한에만 나타나는 생태지역은 남해안 상록활엽수림 생태지역, 난・온대 생태지역, 남부 산악 생태지역, 남부 평야 생태지역, 영서 산간 생태지역이었다. 남한과 북한이 공유하는 생태지역 중 한강유역 생태지역이 가장 넓었다. 북한에만 나타나는 생태지역은 9개였다. ANOVA test 결과는 15개 생태지역 간 차별성을 나타낸다(*p value = 0.000*). 남부 산악 생태지역과 영서 중・산간 생태지역은 연평균 강수량과 토양수분 함유량 최대치에서 통계적으로 유사하였다. 그러나 15개 생태지역은 지역적으로 각기 독특하게 분류된 것으로 평가되었다. 제주도와 남해안의 남부해안 생태지역은 상록활엽수림 분포지로 확인되었다. 지리산과 태백산의 남부 산악 생태계는 주목과 구상나무의 아고산침엽수림이 분포하였다. 남부 평야지역 생태계에는 아고산수종이 나타나지 않았다. 자연식생의 출현이 남한의 생태지역별로 타당하게 설명되었기 때문에 북한의 생태지역도 이와 유사할 것으로 추정하였다. 본 연구의 생태지역은 연구자의 주관적 조정이 배제되었기 때문에 선행연구의 지역구분 보다 더 객관적이었다. 생태지역마다 자연식생 출현, 지형, 토지피복이 반영되어 기본계획을 위한 공간자료로 유용한 것을 확인하였다.

1989년에서 2008년 사이 북한의 산림 황폐지 중 잠재복원대상지는 18,525㎢로 나타났다. 그러나 변화되지 않은 산림 73,154㎢의 약 10%도 fPAR과 NDVI가 낮아서 기준연도에도 취약한 산림으로 추정하였다. 이 기간 중 산림황폐화는 어느 한 지역에 집중하여 나타나지 않고 북한 전역에 산재하여 나타났다(*Moran's I index = -1*). 도시 지역이 많고 인구밀

도가 높은 평야 생태지역(C, G, K)은 물론 산림 생태지역(M, N, O)에서도 산림 황폐화 현상은 똑같이 나타났다. 무립목지와 산림전용 지역 사이에는 높은 양의 상관이 있어서 무립목지가 경작지로 전용되는 관계를 추정할 수 있었다($r = 0.91$). 고도가 낮은 경사지(150m-600m)의 무립목지에 대한 산림전용 비율은 25~30%였다. 고원지대(1050m-1500m)는 32%~45%로 나타났다. 고도가 낮은 경사지는 강수량이 적고 토양이 건조하지만 인구밀도가 높아서 산림전용이 발생하였다. 고원지대는 울창한 산림이 유지하는 토양수분함유량이 높아서 인구밀도는 낮지만 산림전용이 급격하게 증가한 것으로 추정하였다. 북한 산림황폐지 복원에서 단순히 경사도를 적용하여 복원계획을 하는 것에 문제가 있음을 의미한다. 산림이 경작지로 전용되는 생태적 요인은 여름철 3개월 강수량과 관련이 있었다. 북한에서 여름철 3개월 강수량은 작물의 생육기와 일치하고 천수답의 특성과 일치한다. 경사지 농업은 생육기간 동안 토양수분이 유지되거나 수리시설의 개・보수가 전제되어야 유지되기 때문에 북한 스스로 황폐지를 복원하는 것이 불가능하다는 것을 반증한다. 북한의 적지적수표는 생태지역별 우점종과 북한이 선호하는 조림 추천수종을 의미한다. 생태지역별로 조림가능 수종은 100여종 이었다. 아로니아, 블랙베리, 비타민 나무, 잣나무, 밤나무는 경제수종으로 북한에서 선호하였다. 창성이깔나무와 수삼나무는 훼손된 토양에서 생육이 양호하기 때문에 보급수종으로 선호하였다. 북한은 남한보다 온도는 낮고 건조한 생태계이기 때문에 남한의 경험적 조림방법 보다는 생태적 특성과 북한의 현실에 부합하는 복원계획 도입에 의해 실패의 확률을 줄일 수 있는 것으로 추정하였다.

생태지역별 복원요인과 경관정보는 전문가들이 북한 산림경관 복원 목표를 선정하는 데 도움을 주었다. 전문가들은 농경지가 우점하고 인구밀도가 높은 산림경관 훼손 생태지역(G, L, K)에 산림농업 목표를 선호하였다. 이들 지역에 생태관광과 기후변화 적응이 산림농업과 연동하여 추천되었다. 혼효림이 우점하는 북부 해안 생태지역(C)은 생태관광(26%)과 생물다양성(21%)이 선정되었다. 강수량이 풍부하고 토양수분이 양호

하여 낙엽활엽수림이 우점하는 중·동부 내륙 생태지역(I)은 보전림과 생물다양성 순으로 추천되었다. 평야지대에서 산림대로 이행하는 생태지역(M)에 전문가들은 보전림을 생태관광과 연동하여 추천하였다. 이 지역은 복잡한 지형으로 형성된 기암괴석으로 인해 북한에서도 볼거리가 많은 지역으로 알려져 있다. 고원 생태지역(N)은 보전림과 생태관광이 연동하여 추천되었다. 백두산, 개마고원, 장진·풍서 고원의 알파인 산림과 고원습지가 분포하는 지역이다. 낭림 산악 생태지역(O)에는 보전림과 용재림이 연동하여 추천되었다. 이 지역은 온도가 낮지만 북한에서 상대적으로 강수량이 풍부하고 소나무 보호지역으로 관리되고 있다.

산림농업은 단기간 내에 생태계 기능 안정과 식량증진에 기여할 수 있는 장점이 있다. 그러나 하위계획에 생태계 구조를 향상시킬 수 있는 배타적 목표의 적용이 필요하다. 보전림과 생물다양성은 생태계 구조와 기능을 동시에 향상시키는 장점이 있다. 그러나 시간의 해상도가 길기 때문에 하위계획에 단시간 내에 생태계를 안정시키는 복원목표 적용이 요구된다. 생태관광이 산림 및 농업 생태지역의 훼손된 산림복원 목표로 동시에 추천된 것은 문가들이 생태계 보호는 물론 생태적 경제가치 창출에도 관심이 높은 것으로 판단되었다.

본 연구는 기존의 '나무심기'의 조림 개념에서 탈피하여 정량적이고 공간적인 복원방법을 제공한 것에 의의가 있다. 객관적인 정보를 바탕으로 전문가들이 참여하여 생태지역별 복원목표를 선정한 것에도 의의가 있다. 그러나 북한의 유용한 GIS 자료의 확보와 함께 공간위계를 세밀하게 설정한 복원모형 개발은 후속 연구 과제이다.

주요어 : 북한 산림경관복원, 생태지역, 잠재복원대상지, 목표기반 생태복원, 생태계 선형 구조-기능 모델

학번 : 2011-30743

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 1
제2절 연구 범위 ····· 4
제3절 연구 방법 ····· 6

제2장 기본이론 ····· 8
제1절 생태지역 ····· 8
1. 생태지역 연구흐름 ····· 8
2. 목적적 생태지역 ····· 11
3. 한반도 지역구분 ····· 13
제2절 산림경관복원 ····· 16
1. 정의 및 형성과정 ····· 16
2. FLR과 전통적 복원의 차이 ····· 17
3. 목표 지향적 산림복원 ····· 22
제3절 북한 적용모형 탐색 ····· 27
1. 생태복원 목표 ····· 27
2. 북한 산림복원 목표 ····· 30
3. 북한의 잠재복원대상지 ····· 33

제3장 재료와 방법 ····· 35

제1절 연구 재료 ····· 35
1. 생태지역 공간변수 ····· 35
2. 잠재복원대상지 변수 ····· 42
제2절 분석 방법 ····· 46
1. 생태지역 유형화 ····· 46
2. 산림경관 복원요인 추출 ····· 50
3. 전문가 설문을 통한 복원목표 선정 ····· 53

제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형 ····· 55
제1절 한반도 생태지역 유형화 ····· 55
1. 남·북 생태계 차이 ····· 56
2. 생태지역별 차별성과 유사성 ····· 61
3. 생태지역 타당성 ····· 68
4. 소결 ····· 75
제2절 북한 산림경관 복원요소 평가 ····· 78
1. 잠재복원대상지 추정 ····· 78
2. 산림황폐지 생태적 요인 ····· 82
3. 생태지역별 토지피복과 우점식생 ····· 85
4. 소결 ····· 89
제3절 생태지역별 산림복원 목표선정 ····· 92
1. 산림 황폐지 복원요인 ····· 92
2. 생태지역별 복원목표 ····· 96

제5장 결론 ·····100

■ 참고문헌 ·····103

■ 부록: 전문가 설문지 ·····113

Appendix 1 ·····118

Appendix 2 ·····122

Appendix 3 ·····129

Abstract ·····142

표 차례

Table 1. Definition and conceptual change of FLR ·····17
Table 2. Difference between traditional restoration and FLR ·····18
Table 3. Forest classification accordance with canopy density ·····24
Table 4. Attribute and components of landscape mosaic ·····25
Table 5. Alterative restoration goals used for expert survey ·····32
Table 6. Change detection including unchanged area ·····33
Table 7. Existing studies suggested forest restoration method in NK ···34
Table 8. Three ranked categories for post hoc comparison ·····49
Table 9. Dependant variales used to binary logistic regression ·····52
Table 10. Variation explained by the 22 components ·····58
Table 11. Factor scores on the first three components ·····59
Table 12. Variable homogeneity between ecoregion k=15 ·····62
Table 13. Ecoregion characterization described by actual vegetation ···70
Table 14. Ecoregion naming ·····74
Table 15. Forest area in 1989 into nonforest in 2008 ·····79
Table 16. Ecoregion and degraded forest area ·····81
Table 17. Covariance explain for binary multivariate analysis ·····82
Table 18 Variable in the equation changed into degraded forest ·····83
Table 19. Variable in the equation changed into sparse forest ·····84
Table 20. Variable in the equation changed into shifting cultivation ···85
Table 21. Distribution of dominant vegetation in ecoregion ·····89

Table 22. Ecosystem linear structure-function model for goals ·····97

Appendix

AX1_Table 1. Variables which used to existing ecoregion study ·····118

AX1_Table 2. Ecological restoration zones in China ·····119

AX2_Table 1. Climate variable coding ·····128

AX3_Table 1. Dunnett T3 post hoc pair wise comparison ·····129

AX3_Table 2. Variable mean value of E15 ·····131

AX3_Table 3. % area of Level 2type land classes of ecoregion ·····132

AX3_Table 4. Ranked ecological factors accordance with dominant ···133

AX3_Table 5. Level 3 type forest distribution ·····134

AX3_Table 6. Refferal afforestation species in forest management zones in North Korea ·····135

그림 차례

Figure 1. Indicator map and study area of North Korea ·····5
Figure 2. Study flow diagram and research contents ·····7
Figure 3. Study transition related to ecological region ·····11
Figure 4. Sino-Japanica region and forest climate zone of NK ·····15
Figure 5. Biogeographic and climate region of Korea ·····15
Figure 6. Concept of ecological integrity ·····18
Figure 7. Implementation of existing FLR studies ·····22
Figure 8. Conceptual restoration goals matching spatial hierarchy ·····23
Figure 9. Variety of landscape attributes ·····25
Figure 10. Flowchart of alternative future scenario modeling ·····26
Figure 11. A conveptual model of ecological restoration process ····· 28
Figure 12. Ecosystem linear structure-function model ·····30
Figure 13. Level 3 type land cover map of North Korea ·····45
Figure 14. Ecological restoration goal setting process ·····54
Figure 15. Difference ecosystem between North and South Korea ·····60
Figure 16. Geographical distribution of ecoregion ·····64
Figure 17. Naked eye comparison of ecoregion boundary ·····72
Figure 18. Matching the plateau's boundary ·····72
Figure 19. Shifting cultivation and deforested area ·····78
Figure 20. Shifting cultivation ratio accordance with ecoregion ·····81
Figure 21. Level 2 type land cover according to ecoregion ·····87

Figure 22. Ecosystem linear model for restoration goals ·····99

Appendix

AX1_Figure 1. Global potential restoration map ·····120

AX1_Figure 2. Landscape mosaic analysis ·····121

AX2_Figure 1. Spatial variables used to classify ecoregion in Korea ·122

AX2_Figure 2. AVHRR forest map in1989 in North Korea ·····125

AX2_Figure 3. Ecological region overlaying administration area of North Kroea ·····126

AX2_Figure 4. Ecological region overlaying actual vegetation ·····127

AX3_Figure 1. Ecological region by empirical input k =5,6,7,8 ·····138

AX3_Figure 2. Extracting level 3 type lulc of ecoregion ·····139

AX3_Figure 3. Ecoregion restoration goals ·····140

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

세계적으로 육지 면적의 약 31%(약 40억 ha)는 한 때 산림이었다. 이 중 현재 벌채된 지역이 약 30%를 차지하고, 약 20%는 황폐화 되었다[1]. 해마다 약 5.2백만 ha의 산림이 소실되었지만 생물다양성, 기후변화, 주민의 생계, 수자원의 질에 관련된 산림 의제가 대두되면서 전 세계적으로 산림경관을 다시 복원하기 시작하였다(Brown, 2005). GPFRL에서는 전 세계의 약 20억ha가 넘는 산림황폐지는 잠재복원대상지로서 '기회의 경관(landscape of opportunities)' 이라고 선언하였다[2].

우리나라는 1960~70년대에 비료목 중심의 속성수 조림과 비탈면 안정 공사를 통해 산림의 조기녹화에 성공하였다. 그러나 산림복원 과정에서 생태계 서비스에 대한 중・장기 목표를 고려하지 못한 점이 있다. 그래서 조림이 완성된 오늘날에는 용재의 사용, 생태적 기능과 구조 안정, 생물다양성, 산림경관의 자원화에서 아쉬운 점이 지적되고 있다. 이는 미국의 CCC[3]정책(Salmond, 1967)이 오늘날 미국에게 800개 이상의 주립・국립공원, 약 21,000km의 하이킹 코스, 약 84,000㎢의 캠핑 사이트, 39,000㎢ 이상의 도시 오픈스페이스, 그리고 매년 10만개 이상의 사회적 일자리를 제공해주고 있다는 성과와 대비되는 측면이 있다[4]. 그래서 북한의 산림황폐지 복원에 관해서는 남한의 조림경험을 그대로 적용하는 것보다는 정량적 공간적 분석을 통해 미래 추구하는 가치를 복원계획에 적용할 필요성이 대두되었다.

---

1) FAO, 2005: The Global Forest Resources Assessment update 2005(FRA 2005)
2) GPFLR: Global Partnership on Forest Landscape Restoration(http://www.forestlandscaperestoration.org/)
3) CCC: Civilian Conservation Crops, 1933년에서 1942년까지 미국의 경제공황 시기인 10년 동안 미개발지의 자연자원 개발과 보전 관련 일자리 창출을 목표로 계획되었다.
4) CCC의 결과는 2009년 2월 19일 자 「Daily Green Newsletter」에 "Why Investing in Parks Is Smart Economic Stimulus" 제하의 글에서 도출한 내용이며 U.S National Park Service에 근무하는 David Barna에 의해 작성되었음.

북한은 국토면적 122,563㎢ 중 80%가 산지였다. 1989년에 국토면적의 약 75%인 91,678㎢ 가 산림이었다가 현재는 세계 3대 산림 황폐지역이 되었다[5]. 1995년 '고난의 행군' 이후 경작을 위한 산림전용이나 땔감용으로 산림이 훼손되었다. 1990년 초 약 82,000㎢[6]에서 2005년에는 약 76,200㎢으로 감소하였다(Kim et al., 2010). 2008년 산림면적은 약 73,000㎢ 이었다(유재심, 2011). 그래서 황폐한 북한산림 경관복원은 세계적 관심사이고 우리나라에서도 꾸준히 관심을 가지고 있다. 그러나 북한 산림복원은 남한의 조기녹화 경험을 바탕으로 북한 전역에 단순히 '나무심기' 이상의 것이 되지 못하고 있다. 남한에서는 북한의 생태계가 남한과 유사한지 혹은 차별성을 보이는지를 공간적으로 연구한 사례가 없다. 단순히 '나무심기' 의 조림방법 이외에 정량적 생태적 방법을 연구한 경험도 없다. 복원의 장·단기 목표 설정에서 지역적으로 무엇을 추구할 것인지에 관한 기초 연구도 찾아보기 힘들다. 다만 복원의 과정에서 북한의 사회·경제적 가치를 창출해야 한다(박경석 외, 2011)는 원칙과 AR/CDM 혹은 REDD를 적용하여 경제성을 확보하는 연구가 있다(한기주와 윤여창, 2007; 조장환 외, 2011; 오영출, 2012). 그러나 대부분의 북한 산림 관련 연구들은 전역적 산림황폐지 면적만을 독립변수로 상정하여 복원계획에서 가장 중요한 생태적 요인을 고려하지 못한 한계가 있다.

스웨덴은 2000년부터 북한 국립과학아카데미 지구환경정보 연구소[7]와 함께 산림황폐지에 용재 생산과 생태적 통합을 목표로 재조림 사업을 하고 있다[8]. 북한의 국토환경보호성과 ICRAF[9]는 2002년부터 황해북도 8개 군의 경사지에 산림환경 안정과 식량증산을 목표로 산림농업 프로그램 운영을 협력하고 있다[10](Xu et al., 2012). 북한 스스로도 황폐한 산림

5) 국토면적은 GIS 공간자료에서 추출한 것임(황폐지 기사 출처:www.maplecroft.com, 2012)
6) 북한 국립과학아카데미(Director of Institute of Forest Management, DPRK National Academy of Sciences) 소속 허만석이 2012년 3월 「산림 및 경관복원에 관한 평양 국제세미나」에서 발표함.
7) The Institute of Geo-environment Information, National Academy of Science
8) 2012년 3월 「산림 및 경관복원에 관한 평양 국제세미나」에서 국립과학아카데미 지구환경정보연구소 석준이 발표함. SDCA(Swedish Development and Cooperation Agency).
9) World Agroforestry Center
10) 2012년 평양 FLR 국제세미나에서 북한 국토환경보호성 소속 방철준이 발표한 내용으로, 황해북도 사리원,

복원이 인민의 삶의 질 향상과 경제안정에 영향을 미친다고 평가한다(UNDP, 2010). 그래서 전역을 9개 생태지역(ecological region), 49개의 생태지구(ecological area), 441개의 생태구역(ecological districts)으로 공간을 유형화 하고 황폐화의 정도에 따라 3단계 복원방안을 적용한다[11]. 북한과 유렵의 공간적 점진적 복원방법이 일정부분 성과를 내고 북한 산림황폐지 복원에 확대 적용되고 있다. 그러나 우리는 아직 정성적 복원 원칙과 '나무심기' 개념을 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 황폐한 북한 산림경관의 생태적 복원모형을 생태지역 수준에서 개발하는 것을 목표로 한다. 산림경관복원(forest landscape restoration;이하 FLR)은 경관생태학적 방법과 생태복원 원리를 통합하여 단순히 조림과 재조림의 '나무심기' 개념을 넘어 생태계 서비스를 창출하는 개념이다(Dudley et al., 2005)[12]. 경관생태학(landscape ecology)은 공간위계 설정과 복원정보 도출방법을 제공한다. 생태복원(ecological restoration)은 미래 산출하고자 하는 가치를 복원목표로 설정하여 계획하고 실행하는 과정을 제공한다. 산림경관 생태적 복원모형이 목표 지향적인 것은 다음 세 가지 이유 때문이다. 첫째, 토지이용변화, 기후변화, 우점종의 변화 등 시간에 따른 경관의 비가역적 상황으로 자연을 원래 상태로 되돌리는 '복구'에 더 이상 의미가 없다(Lamb et al., 2012). 둘째, 생태복원은 생태계 기능, 형태, 구조안정을 통해 장기적으로는 사람과 자연이 상호작용하고 사회·경제적 가치를 창출하는 개념이다(Dominick et al., 2003). 셋째, 목표를 수반하지 않는 복원은 미래에 성공과 실패 여부를 평가할 수 있는 기준도 없기 때문이다(Xi et al., 2012)[13].

황주군, 연탄군, 린산군, 평성군, 서흥군, 수안군, 연산군 등 8개 지역에서 산림농업 프로그램을 운영하고 있다. ICRAF의 아시아 분원은 쿤밍에 있고, 2013년 초 스위스 SADC의 지원을 받아 북한과 공동으로 북한 '산림농업 필드가이드 북(An Agroforestry Guide for Field Practitioners)을 출판함. SADC(Swiss Agency for Development and Cooperation). MoLEP(the Ministry of Land and Environmental Protection; 국토환경보호성)

11) 2012년 3월 「산림 및 경관복원에 관한 평양 국제세미나」에서 허만석이 발표한 내용을 보전생물학자이면서 식물학자인 Dr. Raven이 받아 적은 것을 인용함. 북한의 공간위계와 산림황폐지 평가 발표에 대해 Dr. Raven은 북한 스스로 RS/GIS를 활용할 수 있는 것은 아닌 것으로 판단하고 북한의 공간위계 설정과 산림황폐지 생태적 복원방법에 국제 NGO의 역할이 컸을 것으로 추측하였다.

12) WRI: http://www.wri.org

13) SER(Society of Ecological Restoration, 2004)에서 생태복원의 정의를 기능, 형태, 구조 안정이라고 선언한

제2절 연구 범위

연구의 시간적 범위는 1990년 이전에서 2008년까지로 하였다. 공간적 범위는 한반도 휴전선 북쪽 내륙 및 도서를 포함하는 북한 전역이다(Figure 1). 시간적 범위가 1990년 이전부터 인 것은 생태지역별 산림복원 목표에 기후변화 메카니즘[14]이 선정될 경우 생태지역에 대한 재조림의 사후 분석을 염두에 두었기 때문이다. 공간적 범위는 휴전선 이북의 북한 내륙 및 도서지방을 대상으로 하였다.

내용적으로는 세 가지 모델링 과정을 거쳐 북한 산림경관 생태적 복원모형을 개발하였다. 북한 산림경관의 생태적 복원에 필요한 다변량 환경자료를 구축하여 생태지역을 유형화하였다. 북한의 생태지역별 잠재복원대상지의 복원요소를 추출하였다. 복원요인을 기반으로 전문가 설문에 의해 복원목표를 설정하였다. 한반도 생태지역 유형화는 전통적 생태지역 모델링 목적이 아니고 북한의 생태지역별 복원요인 추출을 위한 목적적 생태지역이 구축되었다. 따라서 지형과 기후변수 이외에 산림복원에 필요한 변수가 추가되었다. 잠재복원대상지 선정은 산림 변화 통계량 중에서 현재의 토지이용을 고려하여 잠재적으로 복원이 가능한 대상지를 선정하는 방법이다. 1989년부터 2008년 사이에 토지피복 변화 탐지를 기본으로 토지이용 지역 중 복원이 가능하지 않은 지역을 제외하였다. 생태지역별로 복원목표 선정은 잠재복원대상지 복원계획에서 복원과정과 복원 후 30년 이상의 장기적 관점에서 사회・경제적으로 추구하는 목표와 관련이 있다. 따라서 북한 산림경관복원에 필요한 생태지역별 장・단기 복원목표 선정은 북한 산림복원에 직・간접적으로 관련될 것으로 예상되는 산림 및 생태복원 전문가를 대상으로 하였다.

이래 생태계 기능회복과 사회·경제적 복원목표 설정이 생태복원에서 핵심으로 등장했다. 생태복원의 장·단기 목표설정은 필수과정이며 복원 과정과 결과를 평가하고 모니터링을 하는 지표로서도 중요하다(www.ser.org).

14) 기후변화 산림메카니즘(UNFCCC Forest Mechanism)은 A/R CDM과 REDD가 있다. 조림(afforestation)은 50년 이상 전용된 지역에, 재조림(reforestation)은 1989년 12월 31일 이전에 산림이 아니었던 전용지에 나무심는 것을 뜻한다. REDD+는 재조림 뿐 아니라 미래 산림훼손을 예방하는 산림전용방지 활동을 포함한다.

산림경관의 생태적 복원은 경관수준의 맥락에서 분석하고 계획하는 것을 기본으로 한다. 그러나 북한은 접근 불능지역이기 때문에 사용할 수 있는 지리정보 데이터 구축이 미흡하다. 그래서 공간위계를 의도하는 대로 생태지역-경관수준-사이트 수준 단위로 설정하는 데에 한계가 있다. 본 연구는 황폐한 북한 산림경관에 대한 생태적 복원모형에 관한 기초 연구이기 때문에 생태지역 수준에서 생태적 요인을 분석하고 복원요인과 경관정보를 추출하여 복원목표를 선정하는 모델링 과정을 통해 연구 목적을 달성하도록 하였다.

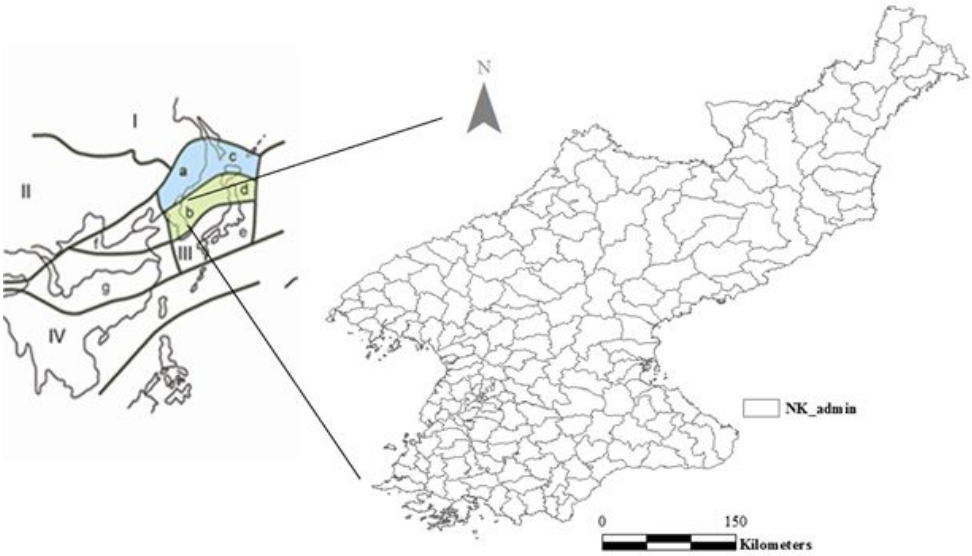


Figure 1. Indicator map and study area of North Korea.

제3절 연구 방법

본 연구는 북한 산림황폐지 복원에 조림·재조림의 '나무심기' 개념을 뛰어 넘는 '산림경관의 생태적 복원모형'을 생태지역 수준에서 개발하는 것을 목표로 한다. 생태지역은 역사적으로 간직한 환경적 유사성이 다른 지역과 차별성을 나타내는 지역을 의미한다. 따라서 연구의 방법과 분석 과정도 생태지역을 유형화하고 생태지역 수준에서 산림경관을 분석하여 연구 목적을 달성할 수 있도록 설계하였다.

첫째, 온도, 강수량, 토양수분함유량, 식생의 생산성과 관련된 공간적 환경변수를 구축하여 k 평균 군집방법으로 한반도 생태지역을 유형화하였다. 생태지역 유형화는 일반 생태지역 모델링 자체가 목적이 아니고 생태복원에 필요한 복원요인을 추출하기 위한 목적적 생태지역 유형화이다. 한반도 전체의 생태지역을 유형화하여 남한과 북한의 생태지역 유사성과 차별성을 하나의 생태계 측면에서 살펴보았다. 둘째, 인공위성영상을 시계열 분석하여 북한 산림변화량을 탐지하고 잠재복원대상지를 선정하였다. 앞서 구축된 생태지역도와 잠재복원대상지를 중첩하여 북한 산림 황폐지 복원에 필요한 요인을 도출하였다. 잠재복원대상지에 대해서는 이항 로지스틱 회귀분석을 실시하여 산림이 황폐화된 생태적 요인을 파악하였다. 잠재복원대상지의 생태적 주요인과 생태지역별로 우점피복과 우점식생을 파악하여 경관정보를 구축하였다. 생태적 경관복원은 잠재복원대상지의 생태적 특징도 중요하지만 주변 토지피복과 토지이용을 연결하는 개념도 중요하기 때문이다. 셋째, 생태지역별로 분석된 생태적 요인과 경관정보를 바탕으로 전문가 설문에 의해 생태지역에서 장기적으로 추구하는 복원목표를 선정하였다.

복원목표의 선정이 전문가를 대상으로 하는 것은 다음과 같은 이유 때문이다. 첫째, 분석에서 추출된 생태적 요인은 데이터를 기반으로 하기 때문에 전문가 이외에 일반인들이 빠른 시간 내에 정보로 해석하는

데에 어려움이 따른다. 둘째, 생태적 요인과 경관정보를 연계하여 해석하는 분야는 데이터 가공과 현장경험이 풍부한 전문가의 식견이 필요하다. 셋째, 생태적 요인과 경관정보를 융합하여 생태지역별로 복원목표를 선정하는 것도 전문가의 정보해석 능력과 직관이 필요하기 때문이다.

위와 같은 과정에서 세부 연구목표를 달성하면서 황폐한 북한 산림경관에 대한 생태적 복원모형을 개발하였다(Figure 2).

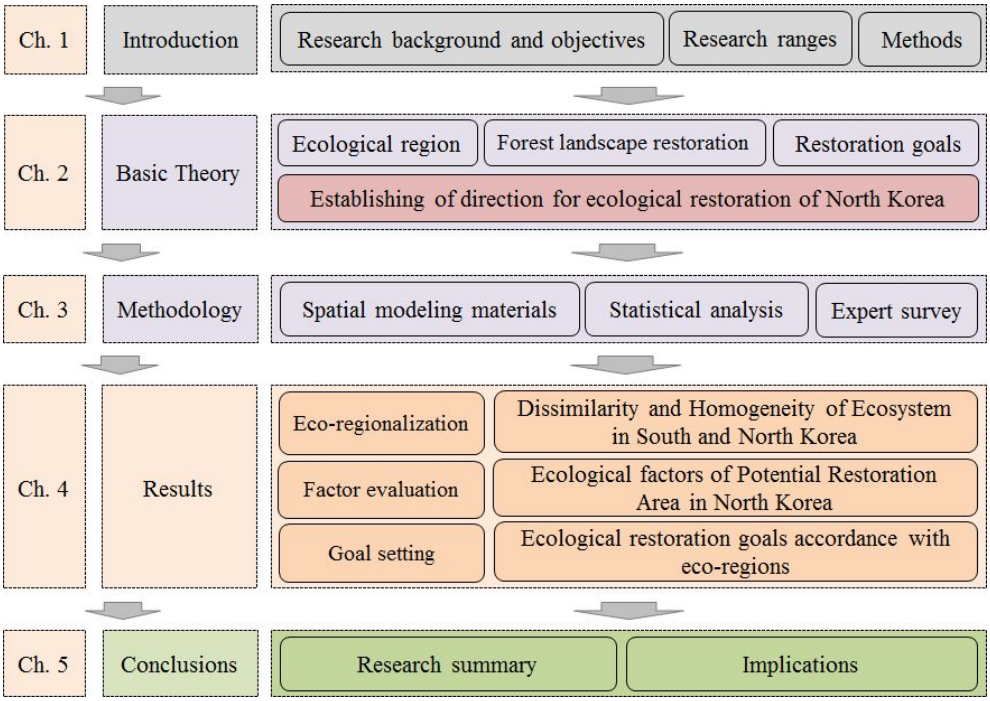


Figure 2. Study flow-diagram and research contents

제 2장 기본 이론

북한의 황폐한 산림경관을 복원하는 데 필요한 생태적 복원모형의 개발은 접근 불능지역을 분석하는 데 유용한 RS(remote sensing)와 GIS 공간자료 수집이 관건이다. 또한 전역적 공간분석 도구를 지역 적응화(local adaptation)할 수 있는 전략의 미세조정(fine tuning)이 필요하다. 관련이론과 선행연구를 통해 북한 산림경관 생태적 복원에 적합한 공간해상도, 시간해상도, 생태지역 유형화, 생태요인 분석, 잠재복원대상지 선정, 생태지역 복원목표를 설정하는 방향과 방법을 모색하도록 하였다.

제1절 생태지역

1. 생태지역 연구 흐름

생태지역이란 환경적으로는 기후, 토양, 수문조건, 자연식생이 비슷한 지역을 의미하고 인문적으로는 토지이용, 경제활동과 지역의 정서와 문화를 서로 유사하게 공유하면서 이웃한 지역과는 차별성을 가지는 지리적 군집이다(Hargrove and Hoffman, 2005; Bailey, 2005). 기호지방, 영남지방, 호남지방, 관동지방, 해서지방 등 행정구역은 아니지만 관습적으로 차별되는 전통적 지역과 유사한 개념이다. 위와 같은 생태지역의 차별성은 지역 내에서 경험적 변이를 서로 비슷하게 공유하는 것에 기인한다(Bailey et al., 1985). 그래서 생태지역은 두 가지 중요한 기능적 특징을 갖는다. 첫째, 지역의 생태계 행동과 지식이 경험적으로도 실증적으로도 오랫동안 흡사하게 작동했기 때문에 돌발적인 조정을 거의 필요로 하지 않는 장점이 있다. 둘째, 비슷한 시스템에서 기대되는 반응이 거의 흡사하기 때문에 자연환경 관리는 물론 정책적 관리 측면에서 생태지역을 기본으로 적용하는 것이 매우 유리하다.

생태지도란 생태계의 생물과 무생물이 상호작용하는 지역과 지역을 식별 가능하도록 분할하는 것을 말한다(Loveland and Merchant, 2004; Bailey, 2005). 복잡한 다변량 환경 요소들이 지역적으로 유사성을 보이면서 다른 지역과는 차별성을 보이게 범주화하여 사용자들이 이해하기 쉽도록 시각화 시키는 것이다(Hargrove and Hoffman, 2005). 생태지역은 행정지역이나 관리지역처럼 뚜렷한 경계를 형성하지 않기 때문에 접근 과정에서 학문적 논쟁거리를 제공한다. 위계적인가 비계층적인가(Hessberg et al., 2000; Jensen et al., 2001; Zhou et al., 2003), 일반적 목적성 혹은 특수 목적성을 갖는가(McMahon et al., 2001; Williams et al., 2008; Farmer et al., 2010; Andrew et al., 2013), 공간적으로 연속적인가 불연속적인가(Hargrove and Hoffman, 2005; Bailey, 2005), 정적인가 동적인가(Wright et al., 1998; Wallington et al., 2005), 관리하고 규제하는 단위가 될 수 있는가(Omernik, 2003; Overton et al., 2002; Leathwick et al., 2003; Coops et al., 2009)에 관한 논쟁들이다.

많은 논쟁거리 중에서 그러나 학술적으로 가장 의미 있는 논쟁은 생태지역이 정량적 통계기법으로 묘사될 수 있는지 혹은 오직 전문가의 질적 경험적 축적을 통해서만 묘사가 가능한지에 관한 논쟁이다(Hargrove et al., 2003; Hargrove and Hoffman, 2005). 이런 논쟁은 그동안 많은 학자들이 정량적 객관적 생태지역 군집화 보다는 경험적이고 질적인 방법으로 생태지역을 분류했던 경향 때문이다. 우리나라도 예외는 아니다. 한반도 공간 분석에 지구적인 차원의 기후대나 식물지리구를 사용하였다. 일관성이 담보되진 않은 조사 자료와 전문가의 지식이 편향된 식물지리구를 비판 없이 빈번하게 인용한 경험이 있다.

그러나 다변량 정량적 생태지역화 기법이 도입된 이후에는 논쟁들이 단순하게 정립되어 가고 있다. 생태지역도 구축 목적에 따라 다변량 변수가 진입하고 정량적 군집화 방법이 변수에 대한 전문가의 편향된 가중치를 허용하지 않기 때문이다(Hargrove and Hoffman, 2005). 첫째, 생태

지역은 일반적 지역구분을 알아보기 위한 것이 아니고 특수 목적을 구현하기 위해 구축한다. 둘째, 생태지역 경계는 연속적이지만 지리적으로 격리되어 나타나는 현상은 당연하다. 셋째, 생태지역은 행정 편의를 위해 설정되는 생태적 관리지역과는 구별된다.

생태계(ecosystem)라는 용어는 Tansley(1935)에 의해 제안되었다. 생태지역(ecoregion)이라는 용어는 카나다의 산림연구가 Orie Loucks(1962)가 처음 언급하였다. 기후와 식생을 기반으로 카나다의 정량적 생태지역도가 세계에서 처음으로 제작되었다(Crowley, 1967; Bailey, 2005 재인용). 미국 생태지도(Bailey 1976, revised 1994), 북미 생태지도(Bailey and Cushwa, 1981, revised 1997), 전 대륙(Bailey 1989)과 해양(Bailey 1996)의 생태지도가 차례로 제작되었다[15]. 뉴질랜드, 호주, 미연방 자연자원국 등은 일반 생태지도를 사용하고 있다(McMahon et al., 2001). 미국은 생태지역을 3,000개(Hargrove and Luzmoore, 1998)와 5,000개(Hargrove and Hoffman, 2005)의 유형으로 분류하였다. 생태지역이 점차 섬세하게 분할되는 데에는 생태지역도 제작 목적과 관련된 변수 때문이다. 연구 초기에 필수적으로 진입하던 지형과 기후변수 이외에 목적에 따라 토양과 생산성에 관련된 변수들이 추가되었다. 몇몇 전문가의 정성적·질적 식견에 의해 생태지도를 제작하던 방식에서 점차 정량적·다변량 분석기법을 활용하여 생태지도를 제작하게 되었다. 최근에는 특정 목적성을 가지는 생태지역도가 제작되고 있다(Figure 3). 정량적 생태지역은 전문가의 질적 생태지역과 달리 개인의 편향된 지식에 의해 측정인자가 가중되는 것을 방지하고, 반복가능하고(repeatable), 호환성(transferability)이 있다는 면에서 더 객관적이다(Hargrove et al., 2003: Pullar et al., 2004; Williams et al., 2008). 전문가의 경험은 특정 투입 변수의 가중을 의도적으로 조정한다. 그러나 정량적 방법은 모든 투입 변수가 동등한 가중치를 가지고 군집을 생성하기 때문에 어떤 인자가 전문가의 경험에 의해 공간적으

15) Ecological regionalization in Canada and the United States(Bailey et al., 1985)와 Ecological Regionalization in Canada(http://ecozones.ca/english/regionalization.html) 에서 발췌함

로 수정 되었는지를 알아보기 쉽다. 그럼에도 불구하고 진입하는 변수를 연구자가 직접 선택한다는 측면에서 정량적 분석기법의 생태지역화가 주관성이 완전히 배제되었다고 말 할 수는 없다.

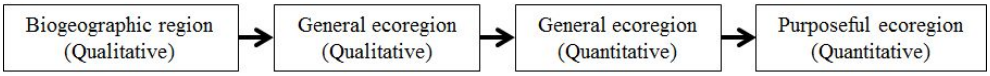


Figure 3. Study transition related to ecological region

2. 목적적 생태지역

정량적 생태지역 연구를 시작한 초기에는 생태지역이 다른 지역과 기후적으로 정말 다른지를 파악하는데 집중하였다. 또한 기후변수를 이용하여 생태지역을 설명할 수 있는 더 나은 방법이 있는지를 탐구하는데 주력하였다. Alberta 지역은 농업기후 지수를 주성분 분석하여 실제 기후와 비교하였다(Williams and Masterton, 1983). 생태지역간의 차별성은 ANOVA(analysis of variance)로 검증하였다. 미국 북동지역 호수를 대상으로 생태지역 간에 수문학적 생산성이 서로 다르다는 것을 연구한 사례도 있다. 연구 대상지 호수에서 53개의 실증 데이터 판별분석을 통해 생산성이 다르다는 것을 입증하였다(Bailey, 1984). 생태지역마다 호수의 수질에 차이가 있는지를 수질 데이터를 수집하여 검증한 사례도 있다. 수질의 계량 정도를 주성분 분석을 통해 차원을 축소시킨 후 k 평균 군집분석을 수행하였다(Jeneretette et al., 2002). 상태지역 분류와 수질은 98%의 정확도를 보였고 상위 위계에서 정확도는 더 높았다.

GIS(geographical information system)를 이용한 연구 초기에는 단일종과 생태지역 관계를 증명하는 데 사용되었다. California에서 일사량과 지형의 군집과 참나무림 분포 사이에는 지리적으로 매우 강한 관련이 있었다(Davian and Goetz, 1990). 일사량과 지형은 참나무 임분(stand) 보다는 조각(patch) 크기와 더 관련이 있었다. 수퍼컴퓨터와 인공위성 영상의

발달은 다변량 환경변수의 획득을 용이하게 만들었고 군집분석으로 정량적 생태지역도를 구축하는 방법을 발전시켰다. 미국에서는 공간 해상도 1km의 고도, 토양요인, 기후요인 등 9개 변수를 이용하여 3,000개의 생태지역을 분류하였다(Hargrove and Luxmoore, 1998). 1km 해상도의 생태지역화는 정성적 생태지역 전문가가 해석할 수 있는 수준을 훨씬 뛰어넘는 정보를 제공한다. 생태지역에 투입된 9개 변수는 각각 정보를 갖고 그 정보는 생태지역 간의 관계를 나타낸다. 이 후 극한 온도, 토양영양과 유기물, 용수량, 무 안개일수, 토양밀도와 깊이, 일사면 을 추가하여 총 25개의 환경요인을 주성분 분석과 k 평균 군집방법으로 5,000개의 생태지역으로 세분하였다(Hargrove et al., 2003; Hargrove and Hoffman, 2005). 이때 주성분 분석은 전통적으로 차원을 축소하기 위한 목적으로 사용된 것이 아니다. 태생적으로 상관관계가 강한 환경변수들 간의 공간적 차이점을 발견하기 위해 사용되었다. 변수들은 데이터 공간에서 저마다 독특한 정보를 담도록 선택되었다. 공간적으로 상관이 큰 투입량이 첫 주성분에서 군집화 된다. 주성분 축에 의해 형성된 데이터 공간은 k 평균으로 다시 군집된다(Hargrove and Hoffman, 2005). k 평균은 각 셀들이 유클리디안 거리제곱 할당 방법으로 공간에서 차이점을 측도하여 생태지역을 선택한다(Hastie et al., 2009). 이때 각 셀들은 지리적 좌표를 직접 나타내는 것은 아니다. 하지만 환경변수에 항상 존재하는 공간적 자기상관 때문에 지리적으로 응집력이 존재한다. k 평균은 데이터 공간에서 작은 크기의 삼각분할(voronoi tessellation)로 된 원형 군집을 조정한다. 군집 내 변이는 상위 한계가 비슷하고 중심에서 최대 반경이 비슷하다. 따라서 생태지역 사이의 독특한 유사성이 생태적 변이가 가장 큰 바로 옆에 붙어있는 지역이 함께 생성되는 것을 방지하기에는 k 평균방법 만한 것이 없다(Hargrove and Hoffman, 2003).

미국 Iowa 지역에서는 생태지역 전문가에 의한 정성적 생태지역도를 제작하여왔다. 그러나 최근 정량적 농업 생태지역을 지리적 군집방법으

로 처음 분류하였다(Williams et al., 2008). 일반적으로 통용되는 기후, 토양, 지형의 농업관련 사용자 선택 변수(user-selected variables)를 공간해상도 1km 셀에 투사하여 주성분분석 후 군집방법을 시행하였다. 32개의 변수는 서로 강한 상관관계를 보이지만 농업생태지역의 차별성을 부각시키는 데이터로 입력되었다. 가령, 고도와 온도는 상관이 매우 높고 기후 관련 다른 변수들도 상관관계가 높다. 그러나 상관이 없는 나머지 숫자만큼의 차이를 나타내기 위해 차원을 축소하지 않고 모두 진입시켰다(Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008).

지구관찰 위성에서 획득한 환경 데이터는 목적적 생태지역을 모델링하는 데 활용되고 있다(AX1_Table 1). 원격탐사에 의해 추출된 공간해상도 1km의 물리환경, 식생의 생산성, 서식지 관련 변수들을 이용하여 캐나다의 생태지역을 분류하였다(Coops et al., 2009). 초기 100개의 지역에서 계층적 군집분석으로 40개의 지역을 유형화한 후 지역의 차별성을 평가하였다. 그리고 캐나다에서 흔히 통용되는 14개의 지역으로 묶어서 현존의 생태지역도와 비교하였다. 결과 현존 생태지역과 원격탐사에 의해 획득한 변수를 활용한 생태지역은 군집 간 차별성과 군집 내 유사성이 통계적 지표 안에 있었다. 생태지역 연구에서 원격탐사 자료를 환경지표로 사용할 수 있는 근거를 확보하였다(Duro, 2007).

수문조건에 영향을 주는 적설체계를 분류하였다(Farmer et al., 2010), 지형(srtm), 토양수분지수(topographic wetness index), 가용에너지(solar insolation and snow melt), 생산성(fPAR)을 대표하는 RS(remote sensing)와 GIS 데이터 자료를 이용하여 카나다 BC[16]의 생태계를 모델링하였다(Fittererer et al., 2012). 이들 연구에서 공간해상도 1km의 원격탐사 자료는 생태지역을 묘사하기에 충분하였다. 또한 생태지역의 차이와 변이를 표현하는 데에도 문제가 없었다(Coops et al., 2008; Coops et al., 2009; Hyde et al., 2010).

16) British Columbia

3. 한반도 지역구분

한반도의 공간 위계에 관한 연구는 식물구계와 기후대 연구가 대부분이다. 우리나라 식물구계는 세계 식물분포를 37개의 구계로 구분하여 일화식물구계에 속하는 것(Good, 1947)을 대체로 인정한다(이우철, 2002). 일화식물구계는 2개의 아구(Kitamura, 1984)가 남북으로 뻗어(Figure 4, left) 다섯 개의 기후대로 구분된다. 북한은 아한대와 북온대가 주를 이루고 중온대를 일부 포함한다(Figure 4, middle). 아한대 산림대는 태백산맥을 따라 남하하여 설악산, 지리산, 한라산의 고지대에 남아있다는 것이 학계의 의견이다(Figure 4, right).

한반도 식물구계는 초기에 5개로 구분되었다(Nakai, 1919; 1935), 이를 수정・보완하면서 식물 종을 7개의 분포 형으로 제시하였다(오수영, 1977). 북한의 8개 지역과 남한의 105개소 자료를 바탕으로 전국을 여덟 개 식물지역으로 구분 하였다(이우철과 임양재, 1978). 종구성, 외관형, 식물종의 공간적 유사도를 군집하여 생물지리구를 설정하였다(공우석, 1998)(Figure 5, left). 그 후 377개 현장자료와 일본 소장의 한국산 식물 표본대장을 근거로 8개의 수정 식물구계가 제안되었다(이우철, 2002). 위 연구들은 전문가의 경험적 편견이 반영된 공통점이 있다. 조사 지점의 지리적 좌표가 불분명하고, 식생과 식물상 자료가 혼재하며, 문헌조사 자료를 이용하였고 전문가의 경험적 식견을 경계설정에 반영하였다.

기후대 구분은 한반도 기후구분(McCune, 1941), 후쿠이(1933)와 후쿠이를 수정한 기후대(강석오, 1967), Köppen 방법에 의한 한국의 기후구분(허우선, 1970), 지형과 기후 요소를 적용한 한국기후(이영택, 1973)[17], 온량지수와 한랭지수를 이용한 구분(Yim and Kira, 1975)이 있다. 연평균기온, 8월 기온, 1월 기온, 연강수량, 여름(6-8월) 강수량, 겨울(12-2월) 강수량 등 6개 변수를 2300여 개의 그리드 위에 입사한 기후구분은 독보적이다. 기온 및 강수량을 행렬로 구성하여 요인분석과 군집분석으로 한반

17) 위에서 언급된 개관한국지리의 강석오(1967), 허우선(1970), 이영택(1973)은 김용만(1990)에서 재인용함.

도를 총 여섯 개의 기후대로 파악하였다(김용만, 1990). 정량적이고 객관적 연구이지만 종이지도로서의 한계를 갖는다(Figure 5, right).

자연환경 관리에 이용할 목적으로 생태권역을 처음으로 구분한 것은 신준환과 김철민(1996)이다. 남한의 산맥, 유역, 기온, 해안으로부터의 거리, 해발고도, 지질, 인간의 역사, 토지이용 패턴을 고려하였다. 다섯 개의 생태권역은 관리지역으로 의의를 갖는다.

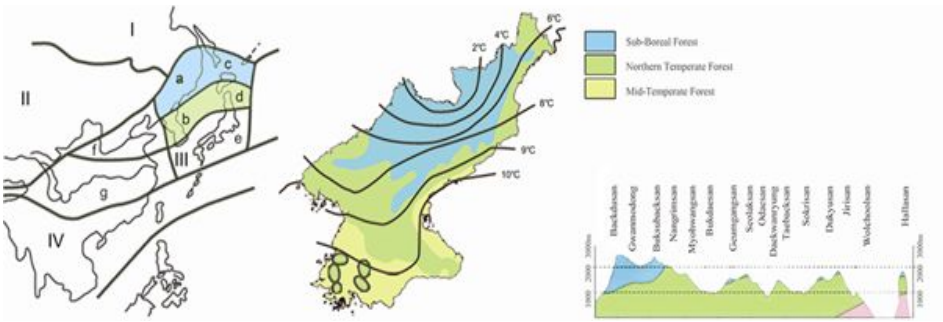


Figure 4. Sino-Japanica region(III, left; Good, 1947) and forest climate zone of North Korea(middle; Lim, 19710), and forest zone in North Korea (middle).

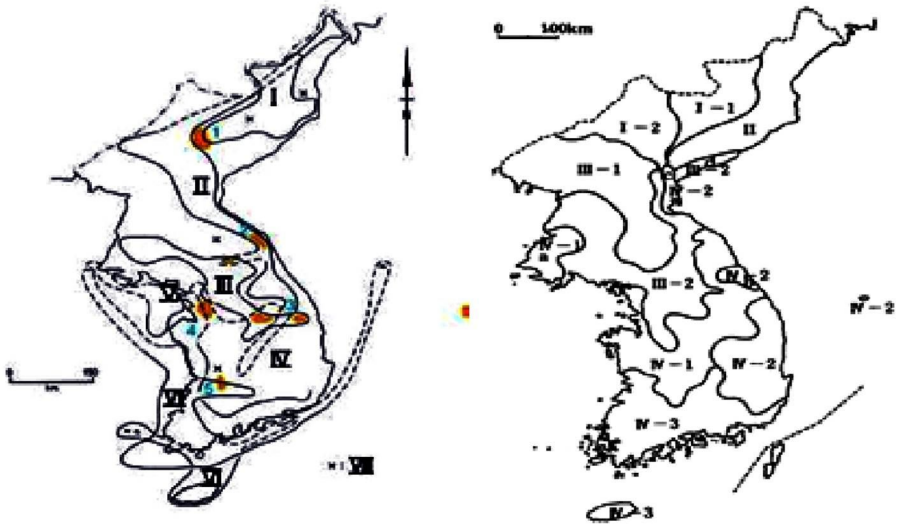


Figure 5. Biogeographic region(Kong, 1998) and Climate region of Korea(Kim, 1990; right)

제2절 산림경관복원

1. 정의 및 형성과정

산림경관복원(forest landscape restoration; 이하 FLR)은 산림에 단순히 나무를 심는 접근에서 물리적 복원 방법과 목표가 발전하면서 개념이 정교화 되었다(Table 1). 경관수준에서 처음 재조림을 주장한(Bryce and Clarke, 1996; Whisenant, 1999) 이후 2001년에 산림경관복원은 '벌채되거나 황폐한 산림경관에 생태적 통합을 회복시키고 인류의 복지를 향상시키기 위한 프로세스'(IUCN, 2005; Maginnis and Jackson, 2007)로 정립하였다. WWF와 IUCN[18]에 의해 산림경관복원이 확산되면서(Newton et al., 2012) 단순히 다시 나무를 심는 것(reforestation) 보다는 '경관맥락에서 추구하는 목표' 가 무엇인가에 따라 재정의 되었다. WRI는 산림경관복원을 '식량, 연료, 삶의 질 향상, 탄소축적, 탄력성 향상, 생물다양성 보전, 침식방지와 수자원의 질 향상을 위해 산림경관에 생산력과 기능을 회복시키는 것' 이라고 정의하였다.[19]

"Restoring functionality and productive capacity to forests and landscapes in order to provide food, fuel, and fiber, improve livelihoods, store carbon, improve adaptive capacity, conserve biodiversity, prevent erosion and improve water supply."

2005년에는 25개국 이상이 참여하는 GPFLR[20]이 결성되었다(Newton et al., 2012). 2011년에는 20억 ha가 넘는 세계의 벌채되고 황폐한 산림

18) WWF(World Wildlife Fund; http://worldwildlife.org/), IUCN(International Union for Conservation of Nature; http://www.iucn.org/)
19) WRI(World Resource Institute; http://www.wri.org/)
20) Global Partnership on Forest Landscape Restoration

경관 복원을 통해 빈곤저감, 식량증진, 기후완화 및 적응, 생물다양성보전 목적을 동시에 달성하는 방법을 개발하였다. 경관의 맥락에서 지역에 필요한 복원목표를 설정하고 사이트 복원은 경관의 목표에 부합하도록 하였다(IUCN, 2005; Sayer et al., 2007; Boedhihartono and Sayer, 2012).

Table 1. Definition and conceptual change of FLR

Organizer	Definition of FLR
Whisenant, 1999	Insist reforestation process on the landscape level
Expert group for forest restoration; Segovia, Spain, 2001	A planned process that aims to regain ecological integrity and enhance human well-being in deforested or degraded landscape
Organized GP on FLR with WWF, IUCN and 25 countries, 2005	Restoring functionality and productive capacity to forests and landscapes in order to provide food, fuel, and fiber, improve livelihoods, store carbon, improve adaptive capacity, conserve biodiversity, prevent erosion and improve water supply
GPFLR, WRI, IUCN South Dakota State University, September, 2011	Based on more than 2 billion hectares of 'a world of opportunity' map, to develop methodology to reduce poverty, improve food security, reduce climate change, and conserve biodiversity through the restoration the world's deforested and degraded lands.

2. FLR과 전통적 복원의 차이

(1) 산림경관복원 개념

산림경관복원은 경관생태학(landscape ecology)과 생태복원(ecological restoration)을 통합하여 산림복원에 관한 사회·경제적 서비스 향상을 추구하는 융합적 방법론이다(Sayer et al., 2007). 개개 사이트 복원 보다는 종의 개체수를 유지할 수 있는 경관수준에서 작동하는 생태적 과정을 중요시한다(Lamb et al., 2012). 황폐한 생태계에 복원방법과 복원목표를 제시하여 생태지역 비전을 성공시킨다(Morrison et al., 2005). FLR은 적어도 네 가지 측면에서 기존 산림복원과는 다르다(Table 2). 첫째, 개개 사이트 복원은 경관수준의 복원목표에 부합해야 한다. 둘째, 산림이 제

공하는 서비스를 최대화시키기 위해 산림경관을 원래 상태로 되돌리기보다는 미래에 추구하는 복원목표를 설정한다. 셋째, 경관수준에서 1차적으로는 생태적 통합과 2차적으로는 주민의 복지를 모두 향상시키는 복원이 되어야 한다. 넷째, 지역의 주민과 경관의 연결성을 찾고 양질의 복원 일자리 창출하여 생태경제 향상을 수반할 수 있어야 한다(Figure 6).

Table 2. Difference between traditional restoration and FLR(modified based on Maginnis et al.,2005)

	Traditional restoration	FLR
Implement unit	Site level	Landscape level composed of several site
Operation	Planting with forestation and reforestation	Double filtering both improved ecological integrity and enhanced human well-being at the landscape level
Process	Top down	Collaborative process wide range of stakeholder group
Original state	-	forward-looking approach that aims to strengthen the resilience and future options for forest related goods and service
Methodology	-	Landscape ecology + Ecological restoration +α
Restoration goals	-	Restoration goal-oriented approach at the ecological unit(or landscape level)

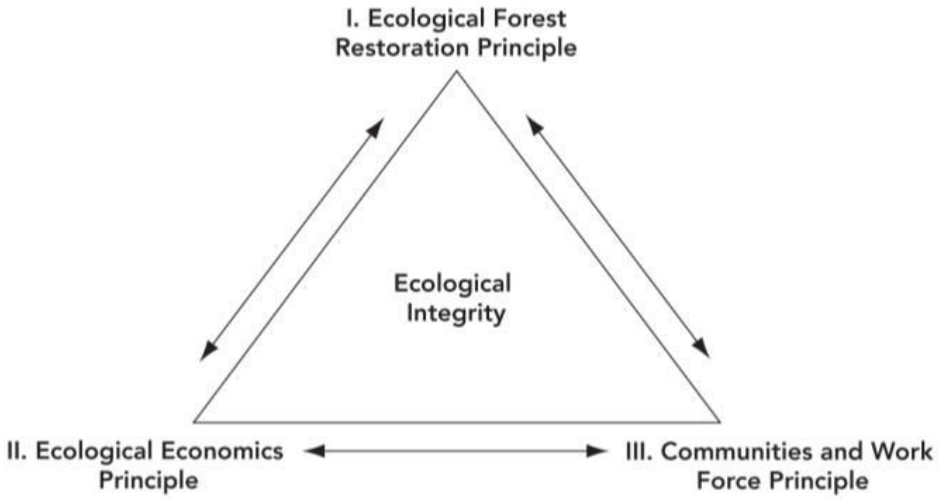


Figure 6. Concept of ecological integrity and core restoration principles(Dominick et al., 2003)

(2) 선행연구

미국의 생태지역 위계는 Ecoregion(Level Ⅰ), Sub-region(Level Ⅱ), Landscape(Level Ⅲ), Unit(Level Ⅳ)의 4단계이다. 전국을 3,000개(Hargrove and Luxmoore, 1998)와 5,000개(Hargrove and Hoffman, 2005) 지역으로 분류하여 산림복원 및 관리 프로그램에 적용하고 있다. 농무성 산림국의 CFLRP는 생태·경제·사회적 지속가능성 증진을 목표로 과학적 방법의 생태복원을 지향한다[21]. 복원우선지역을 GIS 지도에 표시하여 산불 방재, 통합적 자원복원, 효과적 식물경쟁 유도, 유역의 목축 관리, 조림과 재조림에 적용하고 있다. Chesapeake 산림경관 복원 프로젝트(USDA, 2012)는 생태계 기능 회복과 지역 경제 향상을 목표로 하였다. 10년 동안 현재의 산림이 더 이상 파괴되지 않도록 보호·관리하고, 주거지 초지관리, 수목 수관층을 연결하는 녹색인프라(green infrastructure) 구축, 야생동물 핵심 서식지관리, 폐광산과 공업지역 복원, 취약한 토양과 산림농업 지대를 집중 관리는 것을 목표로 계획하였다.

캐나다는 국가 주도의 생태지역과 10개 주 단위의 생태지역도를 각각 작성하여 정책에 반영하고 있다. 생태지역 위계는 국가수준의 Ecozone, Ecoregion, Ecodistrict의 3단계를 주 단위에서도 똑같이 적용한다[22]. 캐나다는 1991년에 도입한 지속가능한 산림관리 개념인 '모델림(Canadian model forest)'을 전 세계에 전파하여 왔다. 지역 공모를 통해 산림관리 목표를 선정하였다. 현재 바이오 에너지(bioenergy), 한대림 프로그램(Canadian circumboreal program), 지역의 변화와 발전, 생태적 재화와 용역, 산림지식의 국제적 공유, 목재 이외의 산림생산, 교육과 연수 목적에 집중하여 전략을 수립였다. 최근에는 산림경관복원 방법을 모델림과 병합하는 작업을 하고 있다(Connections, 2012).

남미, 아프리카, 남아시아의 FLR은 국제 NGO(non-governmental

21) Collaborative Forest Landscape Restoration Program(http://www.fs.fed.us/restoration/CFLRP/)
22) http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/ecostrat/hierarchy.html

organization)가 주도한다. 라틴아메리카는 6개의 생태지역[23]에서 국제기구와 사업주체가 합동으로 연구 프로젝트를 진행하였다(Newton et al., 2012). 생태지역별로 미래 사회·경제적 가치 창출을 목표로 경제적 가치가 높은 수종을 선택하고 연료림 등 지역 사회의 산림 의존 속성을 반영하여 복원계획을 하였다. 지역의 생태계 서비스에 대한 비용-편익 분석을 계획에 반영하여 주민에게 혜택이 돌아가도록 하였다.

아프리카 5개 생태지역에서는 국제 NGO 주도하에 농업과 식량생산을 통합하여 생태계를 관리하고 있다(IUCN, 2005). 서부 아프리카 말리(Mari)의 유와로(Youwarou) 지방은 습지보호활동과 Niger강 삼각주 홍수림을 복원하는 활동에 450여명을 고용하였다. 산림경관복원 시행 2년 후 약 18,000유로 가치의 지역경제 활성화에 기여하였다(IUCN, 2005). 케냐(Kenya)는 지역의 산림경관복원 활동이 국가의 개발전략과 일관성을 유지하도록 하였다. 정부정책과 지역의 특정 개념이 산림경관복원 개념과 연계되도록 정책적 미세조정(fine tunning)을 하였다. 탄자니아(Tanzania)는 이해당사자간 거버넌스를 통해서 혼농·목축으로 황폐화된 약 250,000ha의 산림경관을 건강한 환경으로 복원하였다(FOCUS, 2005). 아프리카에서 산림경관복원의 주 목표는 가난퇴치와 식량안보이다. 최근에는 REDD(reduced emissions from deforestation and forest degradation) 면적이 증가하였다.

베트남 중부 8개 주를 포함하는 Central Truong Son에는 다수의 고산족과 저지대 부족이 살고 있다. 이 지역의 경관복원 목표는 전체를 포괄하는 하나가 아니라 분야별로 작은 깃대종 같은 목표를 여럿 제안하여 복원과정을 시계열로 평가하였다. 베트남, 네팔, 라오스, 인도네시아 등 대부분의 남아시아 국가들이 국제 NGO와 협의체를 구성하여 산림경관복원 프로그램을 수행한다. 생태지역별로 정성적 분석도구를 활용하여

23) 6개의 생태지역은 멕시코의 Oazaca, Veracruz, Chiapas와 아프헨티나의 북부와 남부, 그리고 칠레의 중앙 지중해지역이다. 정교한 생태지역도가 구축되어있지 않은 경우에는 GPFLR에서 제공하는 전세계의 전역적 생태지역도를 참조한다.

생태복원, 조림, 산림농업 등 지역 사회의 수익 증대를 복원 목표로 하고 있다(IUCN_WWF, 2002; Focus, 2005; IUCN_WWF_EARO, 2005).

중국은 9.6백만 ㎢가 넘는 광대한 국토면적이 복잡한 물리환경과 오래된 지리적 역사와 결합하여 광범위한 황폐화가 진행되었다(Xi et al., 2012). 현재 총 6개의 국가단위 산림복원 프로그램[24]이 국제 NGO와 협력하여 시도되고 있다(SFA, 2009; Xi et al., 2012 재인용). 결과, 중국의 산림면적은 1980년에 국가면적의 약 14%였던 것이 1990년대 후반에는 약 17%까지 증가하였다. 중국의 산림복원 면적 덕분에 세계 산림면적이 연간 약 13백만 ha씩 조림과 자연복원 형태로 늘어나고 있다(FAO, 2005; Chazdon, 2008; FAO, 2011). 중국의 산림복원은 곧 세계 산림복원 면적의 증가로 이어진다(Zhou et al., 2008; Zhang et al. 2010). 중국은 전국을 4개의 생태권역으로 간주하고 건조함과 강수량의 정도에 따라 13개의 생태지역으로 구분하였다(Zhou et al., 2003; Xi et al., 2012). 생태적 복원을 고려해야 할 주요 산림경관에 대해서는 복원우선지역을 설정하였다. 생태지역 단위의 복원목표에 하위수준의 복원목표가 부합하도록 복원하였다(AX1_Table 2).

(3) 선행연구의 함의

저개발국의 산림경관복원은 국제 NGO가 주도한다. 정성적 도구를 활용하여 산림농업과 생태관광을 병행하여 가난탈피, 식량수급, 지역발전 목표를 국가적 개발목표와 연계하였다. 개발국은 섬세하게 구축된 GIS 자료를 바탕으로 객관적 의사결정을 한다. 하위 사이트에서는 단기적 생태적 기능향상을 목적으로, 사회·경제적 장기목표는 생태관광과 교육을 연계하는 경향이 있다. 중국은 국가가 주도하여 생태적 복원지역

24) NFPP: the National Protection Program. SLCP: the Sloping Land Conservation Program, DCBT: the Desertification Combating Program around Beijing and Tianjin, SNDP: the Shelterbelt Network Development Program, WCNR: the Wildlife Conservation and Naturure Reserve protection Program, ITPP: the Industrial Timberland Plantation Program.

을 설정하면 하부 위계에서 NGO와 지역 이해당사자가 참여하여 복원목표를 선정하였다. 지역목표의 거버넌스는 국가기관이 주도한다(Figure 7).

산림경관 복원에 활용하는 공간위계는 사용 가능한 GIS 자료의 유·무에 따라 결정된다. 개발국은 유용한 GIS자료를 바탕으로 공간위계를 3~4단계로 설정하였다. 저개발 국가는 국제 NGO에 의존하여 전역적 수준의 생태지역에서 복원 목표 실현을 계획하였다. 개발도상국은 국제 NGO가 제공하는 전역적 생태지역도와 국가적 생태지역도를 융합하여 복원계획에 사용하였다. 산림경관복원을 시행하는 공간적 위계는 나라마다 GIS 자료 확보의 유·무에 따라 다르지만 복원 과정에서 단기적 복원 목적과 장기적 사회·경제적 복원목표를 추구하는 것은 같았다.

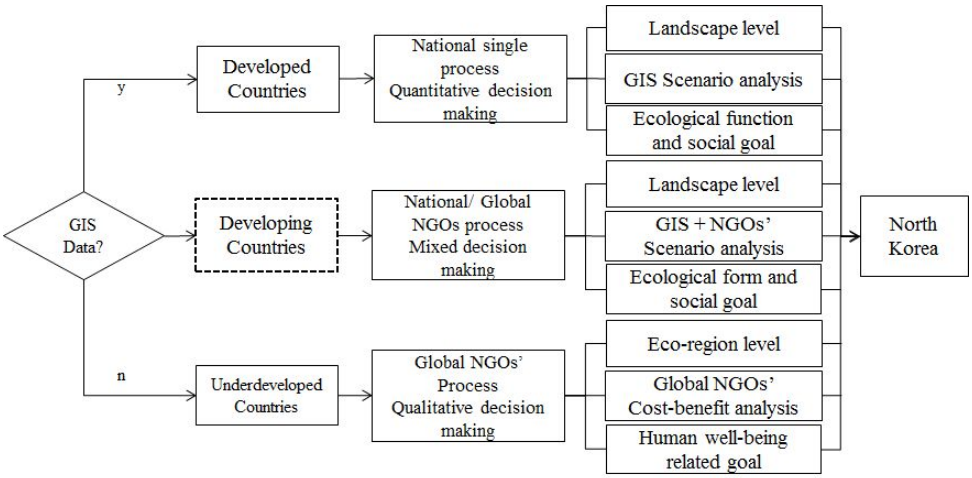


Figure 7. Implementation of existing FLR studies.

3. 목표 지향적 산림복원[25)]

25) FLR을 지원하는 공간분석에 대한 내용은 2003년 카나다 Quebec에서 개최된 the XII World Forestry congress에서 발표된 논문 「Forest landscape restoration: the role of forest restoration in achieving multifunctional landscape(Sayer et al., 2003)」의 내용 중 spatial analysis tools to support FLR을 간략하게 요약한 내용임.

(1) 공간위계와 복원전략

산림경관복원은 기본적으로 생태지역, 경관수준, 사이트의 공간위계를 추구한다(Figure 8). 공간위계의 단계는 공간자료의 유·무와 지역의 여건에 따라서 결정된다(Maginnis, 2011). 생태지역과 경관수준(landscape level)은 지역의 차별성과 유사성에 따라 복원목표를 세우는 계획공간이다. 다양한 비오톱으로 이루어진 사이트는 상위수준의 복원목표에 부합하는 설계기법이 적용되는 사업공간이다. 과거에는 생태권역(ecological zone)을 대상으로 생태계 보전과[26] 사회적 복원 목표를 동시에 달성하고자 하였다(Olson et al., 2001; Morrison et al., 2005). 오늘날에는 RS와 GIS의 발달로 공간위계 설정이 세밀해지고 복원의 프로세스와 계획도 정밀해지고 있다. RS는 대면적의 토지이용 토지피복 변화를 탐지고 환경변수를 제공한다. GIS 자료가 구축되어 있지 않다면 이해당사자그룹이 기초자료 조사, 비용-편익 분석(Brown, 2005), 다기준 평가, 시나리오 분석을 하여 복원목표에 관한 의사결정을 한다[27].

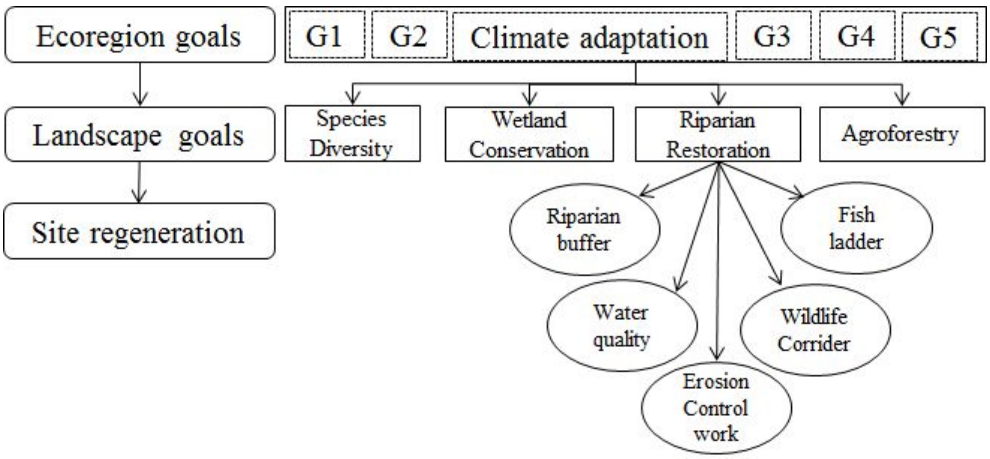


Figure 8. Conceptual restoration goals matching with spatial hierarchy

26) 생태지역 보전은 광역 스케일에서 긴 시간동안 대체, 진화과정의 유지, 개체군이 살아갈 수 있는 환경의 유지, 탄력성 등 생물다양성 보전의 4가지 목표를 이루기 위한 개념이다(Morrison et al., 2005).
27) 정성적 의사결정을 지원하는 도구는 www.earthtoolbox.net에서도 확인할 수 있다.

(2) 잠재복원대상지 선정

잠재복원대상지는 과거에 산림이었지만 현재 토지이용・토지피복이 변화한 곳 중에서 잠재적으로 복원이 가능한 지역을 의미한다. GPFLR에서 제공하는 세계적 수준의 잠재복원대상지는(AX1_Figure 1) 2009년에 제작되고 2010년에 갱신되었다(Minnemeyer et al., 2011). 울폐한 산림(수관피복 > 45%), 개방산림(수관피복 > 25%), 미립목지(25% < 수관피복 > 10%)의 3개 범주로 구분하고, 피복이 10% 미만 인 곳은 산림이 아니거나 토지이용이 전용된 지역으로 간주하였다(Laestatius et al., 2011). 산림이었다가 전용된 농경지, 이차림, 미립목지는 항상 그런 것은 아니지만 복원 잠재성이 없는 곳으로 지도화 되었다(Table 3).

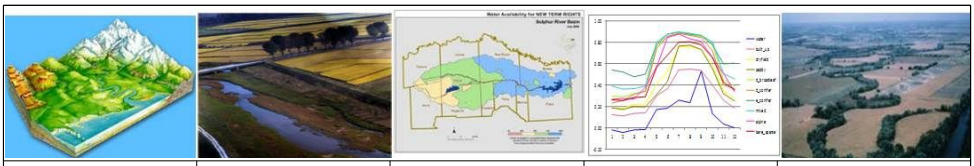
Table 3. Forest classification accordance with canopy density(adapted from Laestatius et al., 2011).

Categories	Classification	Criteria
Land cover	Closed forest	Crown canopy > 45%
	Open forest	Canopy cover > 25%
	Sparse forest	10% <Canopy cover < 25%
	Deforestation	Crown cover < 10%
Land use	Development pressured area	High population density
	Restoration area	Low population density

(3) 복원 목표 설정

1) 경관의 속성

경관의 속성(Figure 9)은 지형, 토지피복, 가용수문, 코리더(통로), 계절변화, 간섭의 형태, 인구밀도와 동물밀도 등이 있고(이도원, 2001; Oliver et al., 2012[a,b]) 경관 모자이크 구성요소는(Table 4) 생・물리적 요소와 사회・경제적 요소로 구성된다. 생・물리적 요소는 지형, 토양의 비옥도, 식생 피복 상태, 생물다양성, 침식, 수문이 있고 사회・경제적 요소는 인구밀도, 토지소유, 도로인프라, 토지이용자의 소득수준, 토지가치 등이 포함 된다(Lamb et al., 2012).



Landform	Land cover	Water availability	Seasonal change	Corridor

Figure 9. Variety of landscape attribute

Table 4. Attribute and components of landscape

Landscape component		Description
Attributes		Topography, Land cover, Water body, Corridor, Phenology, Population and wildlife density etc.
Mosaic factor	Biophysical components	Landform, Soil fertility, Propotion of land cover, Biodiversity, Soil erosion, Hydrology
	Social·economic components	Population density, Land ownership, Road, Value of land

2) 경관모자이크 분석

경관모자이크는 현재의 토지이용 토지피복으로 도로, 토지경계, 생물보전지역 혹은 침식 등 지역의 이슈를 포함한다(Ritters et al., 2009). 복원된 경관은 농경지, 보전지역, 생태통로, 이차림, 용재림, 산림농업지, 수원함양림, 과수목과의 혼합림 등과 같은 토지이용 모자이크(mosaic)로 구현된다(AX1_Figure 2). 복원될 미래의 경관은 원래의 경관을 가정하지 않는다($y=0$). 외래종 제거가 자생종 확산에 기여하지 못하고(Belote et al., 2010; 유재심, 2013), 농경의 확산, 도시화의 진행, 기후변화로 인하여 원래의 서식지나 자생종을 더 이상 되돌릴 수 없을 정도로 변화된 경관도 있다(Lamb et al., 2012). 따라서 황폐하고 파괴된 생태계의 복원은 원래 경관을 되돌리기 보다는 (Choi, 2007) 숲이 완성될 더 먼 미래의 안목을 가지고 주민의 삶의 질을 향상시키는 복원목표를 결정한다(Perry and Millington, 2008; Wimberly et al., 2013). 복원 목표에 따라 복원 후 시간의 변화에 따른 산림경관 변화를 시나리오로 보여준다(Figure 10).

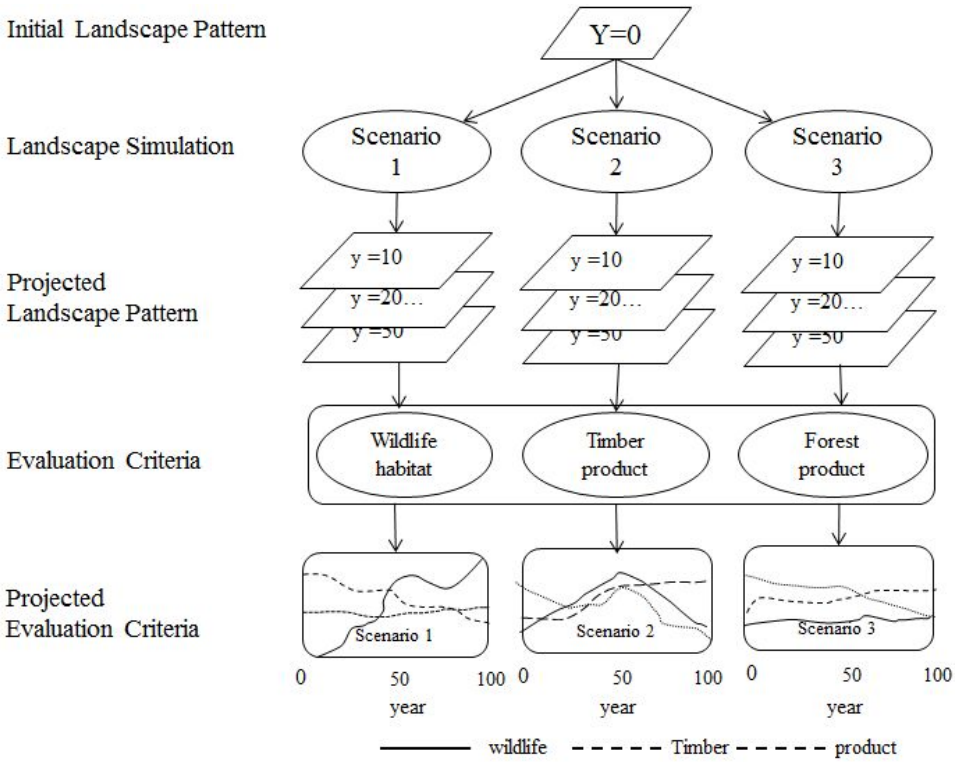


Figure 10. The flowchart of alternative future scenario modeling(Wimberly et al., 2013 and modified by writer)

제3절 북한 적용모형 탐색

1. 생태복원 목표

(1)복원목표

고밀도 도시화 비율이 높은 홍콩은 Tai Po 뉴타운 개발계획과 연계하여 자연복원을 목표로 가파른 경사지와 황폐한 산림을 복원하였다(Jim, 2012). 홍콩의 목표기반 생태계 복원은 전체 신도시 면적의 44%를 피복하여 1956년 대비 토지피복을 4배 향상시켰다. 홍콩의 도시개발과 연계한 복원 프로그램은 도시 확장과 그린 인프라 확장을 병행하여 자연복원 목표를 달성할 수 있다는 교훈을 주었다.

미국 남부지역 소나무림에 SPB(southern pine beetle)가 창궐하여 황폐된 숲을 생태적으로 복원할 때 생태계 기능을 회복하여 생태계 서비스를 향상시킨다는 복원목표를 설정하였다(Xi et al., 2012; US forest service, 2005). 생태계 기능 향상을 위해 크고 작은 스케일의 과정이 상호작용 하도록 복원설계를 하였다. 이 때에도 생태지역과 경관수준 작동에 대한 인식부족, 생태계 기능에 대한 이해부족, 생태계 서비스 정의가 불분명한 것이 약점으로 제시되었다. 그러나 목표기반 복원을 통해 수문사이클 작동, 기후 완화, 공기 질과 수자원의 질 향상, 원활한 토양영양 공급으로 심미성과 감성의 생태계 서비스를 향상시키도록 계획하였다.

200개의 생태복원 목표설정에 관한 사례를 메타분석 한 연구에서 장기적 복원목표는 생태계의 사회적 가치와 관련이 있었다. 교육적, 잠재 경제성, 지역의 문화와 정책에 관련 있었다. 단기적 복원목적은 생태계 형태 안정과 관련이 있었다(Hallett et al., 2013). 외래종의 제거, 희귀종 보호, 대상지 자체의 형태 안정과 관계있었다. 자연지역 복원에서 자주 거론되는 왜래종과 자생종의 종 풍부도(richness)와 우점도(abundance)는 복원하기 전에 양적 상관관계가 있었다. 그러나 왜래종

제거 기간에는 최소한 자생종의 풍부도가 증가하지 않았다(Belote et al., 2010). 우리나라에서도 국립공원 귀화식물 제거가 자생종의 확산과 통계적으로 아무런 상관이 없었다. 귀화식물의 꽃가루 알레르기에 관한 공포도 자생종의 꽃가루가 유발하는 그것에 비해 과대 추정된 것으로 연구되었다(유재심, 2013). 이와 유사한 연구 결과의 증가로 인해 생태복원에서 원래상태로 되돌리는 복구에 대해 부정적 반응이 증가하였다. 생태복원의 패러다임이 변화하여(Choi, 2007) 황폐된 생태계 복원에서 과거를 가정하기 보다는($y=0$) 미래의 가치에 역점을 두는 복원목표를 설정하게 되었다(Beechie et al., 2008). 단기적 생태계 안정성을 위한 목적이든 장기적 사회·경제적 복원 목표이든 황폐된 생태계 복원계획의 첫 단계는 복원목표를 선정하는 것이다. 목표를 설정하지 않는 생태복원은 성공과 실패 여부의 평가도 결정할 수 없기 때문이다(Xi et al., 2012)(Figure 11).

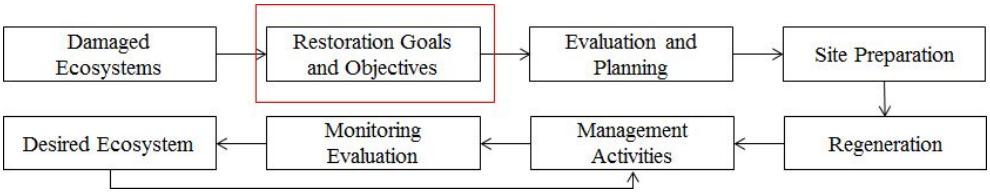


Figure 11. A conceptual model of ecological restoration process. The setting of restoration goals and objectives is essential in that, there can not be evaluated of restoration success without goals and objectives(Xi et al., 2012)

(2) 구조-기능 모델

생태계라는 용어가 처음 도입된[28] 70년 후 생태복원학회(society of ecological restoration; SER)에서는 어떻게 생태계를 복원할 것인지를 토론하였다. 이 논의에서 "생태복원이란 황폐되고 훼손된 생태계의 회복을 지원하는 과정"이라고 정의하였다. "생태계 회복"은 '생태계 형

28) 'The use and abuse of vegetational concepts and terms'(Tansley, 1935)라는 논문에서 "생태계"라는 용어를 처음 사용하였다(Hallett et al., 2013 재인용)

태, 기능, 안정성’의 용어로 명확히 하였다(SER, 2004). 생태복원 목표는 생태복원이 의도한 대로 달성 되었는지 성공과 가치를 평가하는 기준이 되었다(Choi, 2007; Temperton, 2007; Hallett et al., 2013). 이후 생태계 서비스에 대한 관심이 증가하면서 경관의 맥락에서 복원목표를 설정하도록 하였다. 경관복원은 종이 원래상태로 되돌아가는 복구보다는 경관이 산출하는 장기적 사회·경제적 목표를 추구한다(Orsi and Geneletti, 2010; Orsi etl al., 2010). 생태복원은 다음 네 가지 측면에서 목표를 지향한다. 첫째, 생태복원은 과거가 아니라 미래의 지속가능한 생태계 구축을 위한 것이다. 둘째, 종착점을 예측할 수 없기 때문에 경관의 다중 복원목표 설정이 필요하다. 셋째, 경관의 개개 종이나 일시 방편적 재구성이 아닌 생태계 기능의 치유차원에 초점을 둬야한다. 넷째, 사회·경제적으로 받아들일 수 있는 수준에서 가치를 고민하는 과학(value-laden science)이다(Choi, 2007). 이렇게 오늘날의 생태복원은 사회, 경제, 문화, 정책적 요인을 포함하며(Temperton, 2007) 목표기반 생태복원은 생태계 구조와 기능 안정에 가장 강력한 도구가 되었다(Hallet et al., 2013)[29].

생태계 기능과 구조안정이 양(+)의 직선 관계가 있다는 것은 황폐한 생태계와 복원력이 직접 관련이 있다는 것을 의미한다(Bradshaw, 1984; Hobbs and Norton, 1996; Jordi Cortina et al., 2006). 즉, 생체량과 영양의 내용을 내포하는 생태계 기능은 군집과 경관의 복잡성을 나타내는 생태계 구조와 직선관계이다[30]. 자연 상태에서 군집구성과 생태계 기능이 직접관련이 있다는 증거는 없지만(Hooper et al., 2005; Cortina et al., 2006) 생물다양성은 생산성과 부(-)의 관계가 있다(Bakker and Berendse, 1999). 마찬가지로 천이는 시간에 따라 점진적으로 진행되지만 화재 등 특정 교란은 갑작스런 복원력을 제공한다. 따라서 복원목표는 구조-기능의 틀(framework) 속에서 황폐한 생태계가 회복이 이행되는 모형으로 혹은 황폐한 상태에서 기능과 구조가 증가하는 상태로 이행되는 과정을 설

29) http://www.ser.org/home
30) 구조-기능 직선모델(Linear Structure vs. Function model; LSF)

명하는 모형으로 나타낼 수 있다(Figure 12).

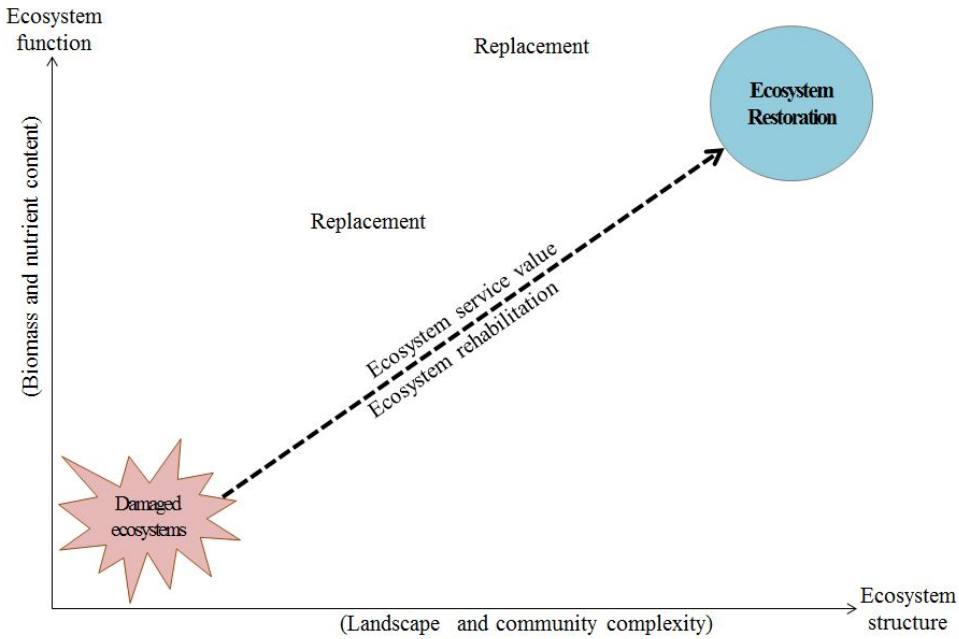


Figure 12. Linear Structure-function model(adapted from Bradshaw, 1984)

2. 북한 산림복원 목표

생태복원의 목표는 복원대상지가 미래에 원하는 어떤 자연적인 조건이 되도록 하는 것이며 10년 이상의 긴 시간이 걸린다[31]. 2012년 3월에 개최된 「산림경관복원 평양 국제세미나」에서 북한은 산림의 보전과 생태적 이용에 관심이 많았다. 2011년 현재 북한 육지면적의 약 7.2%가 보전지역으로 설정되었다. 북한은 2020년까지 육지 면적의 약 17%를 보전지역으로 지정하는 것을 목표로 한다고 발표하였다. 자연보전지역에는 경관점(scenic spots)을 설정하고 레크리에이션 활동과 생태교육 시설을

31) Ecological Restoration guidelines for British Columbia, Ministry of Water, Land and Air Protection, BC.

유치할 수 있는 정책을 시행하고 있고 자연자본을 사회·경제적 요인과 통합하는 정책을 시행한다고 하였다[32]. 황폐화된 경사지에는 환경보호와 주민의 식량증산을 목표로 산림농업을 정책적으로 도입하였다(ICRAF, 2013; Xu et al., 2012)[33]. 용재림과 펄프 생산 이외에 산림과 버섯 등 자연물을 수확할 수 있는 경제림(economic forests) 조성을 선호하였다[34]. 3일 동안 산림의 보전과 이용, 산림농업, 생태관광 정책, 토양유기질 훼손과 건조함으로 인해 유묘의 활착률이 낮은 것에 대해 발표하였고 북한의 과학자들은 RS와 GIS를 이용한 산림관리에 관심을 보였다[35].

우리나라는 북한의 산림복원에 대하여 개성지역 등에 기후변화 적응형 산림을 조성하고 금강산은 생태보전형 산림조성으로 관광과 연계하여 복원하려는 계획을 가지고 있다고 발표되었다[36]. 북한 산림복구지원에 관한 법제연구(법제연구원, 2008)는 북한 산림황폐지 복원에 지역의 산림복구 지원사업과 연계할 수 있는 가능성을 연구하였다. 반면 학계의 북한 산림복원 논의는 AR/CDM과 REDD 적용이 주를 이룬다.

선행연구에서 산림경관복원을 시행하는 국가들의 생태지역 혹은 경관수준 복원목표는 북한이 발표한 산림복원 목표와 일치하고 있다. 이 중 캐나다 모델림은 1991년에 처음 도입되어 지속가능한 산림복원 및 관리 개념으로 전 세계에 확산되었다(CMFN, 2013; Canadian model forest network). 지역마다 생태적, 사회·경제적 조건이 다르기 때문에 지속가능한 산림 관리(sustainable forest management, SFM)의 형식도 지역에 따라 다양하다는 것을 전제로 한다(Hall, 1997). 지역의 생태적 요인을 가장 잘 파악하는 지역민의 자발적 참여를 가장 중요시 한다. 그래서 지역에 최적화된 모델림을 응모하여 지원하는 방법을 선택하고 있다. 농촌지

32) MLEP의 중앙산림디자인연구소(Central Forestry Design Institute) 소속 권영화가 발표함.
33) MLEP 소속 김광주, 국립과학아카데미(DPRK State Academy of Science) 산림경제연구소 소속 최광일, 농업과학아카데미 토양연구소 소속 백선식 등이 각자 발표함. 북한은 김일성대학에 산림농업 교과과정을 설립하였고 기타 농과대학에도 산림농업 과정을 추가하도록 독려하고 있다고 발표함.
34) MLEP 소속 류송화가 발표함
35) 북한 산림관리연구소 박옥실이 발표함
36) http://world.kbs.co.kr/korean/news/news(2009년 10월 23일자)

역인 Lower St. Lawrence의 모델림은 목재수확 보다는 메이플 시럽 생산, 생태관광과 레크리에이션 활동을 통해 지역의 경제적 가치를 강화하는 데 주력하고 있다. Monitoba 모델림은 펄프와 종이산업에 의존하는 작은 지역이지만 숲을 이용하는 레크리에이션 활동인구의 계절적 유입이 급증하기 때문에 야생동물과 결합한 사회·문화적 다양성을 적용하고 있다. 전체의 88%가 넘는 지역이 산림으로 뒤덮인 McGregor 모델림은 식생의 천이, 수문과 지형학, 산림해충과 질병, 토양 형성과정, 개벌과 선택벌 실습 등 생태적 과정을 교육하고 사회·경제적 가치를 창출하는 계획적 의사결정을 한다. 최근에는 모델림과 산림경관복원 방법론을 병행하는 작업을 하고 있다(Connections, 2012).

산림경관복원에 관한 선행연구, 북한의 산림황폐지 보전과 이용에 관한 정책(산림농업, 생태관광, 보전림, 용재림), 학계의 북한 산림복원 연구(기후변화 모델[37]), 캐나다의 모델림(생태관광, 용재림, 생물다양성, 산림농업)을 중첩하여 6개의 대안적 복원목표를 선정하였다(Table 5).

Table 5. Alterative 6 restoration goals used for expert survey

Restoration Model Forest	Explanation
Eco-tourism	Planning and design for utilization of eco-tourism resources
Timber product	Restoration for fiber and timber production in use
Agro-forestry	Designed environment product and food security in livelihood
Conservation	Endangered species, genetic protection, and native species
Biodiversity	Planning and design for integrity of habitats and corridor
Climate change model	For improving securing economics and climate adaptation

3. 북한의 잠재복원대상지

(1) 잠재복원대상지 선정

37) 설문에 사용한 기후변화모델은 학술연구에서 논의된 경제성 확보를 위한 기후변화 메카니즘 적용모델을 의미하며 기후변화 논의에 숨어있는 의도인 인도적 차원의 경제성 확보나 기후변화 적응형 산림조성을 목적으로 하는 모델림은 아니다. 이에 대해 오영출 박사의 의견이 있었으므로 밝힌다.

북한은 접근불능지역이기 때문에 인공위성 영상을 이용한 연구는 현장의 자료를 대신할 수 있다는 측면에서 유용하고 유일한 대안이다. 선행연구에서 저해상도 NOAA/AVHRR NDVI 영상을 이용한 북한 토지피복 분류는 농경지. 산림, 수계, 도시화지역(이규성, 1999; 김의홍과 이석민, 1996; 1997; 남기덕, 1999)의 대분류가 시도되었다. 중해상도 MODIS NDVI/EVI 영상의 경우에는 AVHRR분류를 바탕으로 산림은 상록침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼효림으로 중분류 하고 농경지는 논과 밭을 분류하였다(김원주, 2004; 김도형, 2006). 생물계절 특성을 적용한 연구에서 우리나라처럼 사계절의 변화가 있는 온대지역은 생물계절 상(phenological phase)을 영상분석에 사용하면 토지피복 세분류는 물론 분류정확도를 향상시키는 데 도움이 되었다(유재심 외, 2011).

산림변화 탐지는 과거 양호한 산림이었던 곳이 현재 양호하지 않은 산림이거나 토지이용이 변화된 지역을 탐지하는 공간적 통계기법이다(Table 6). 과거 양호하지 않은 산림이 현재도 양호하지 않을 경우에는 변화되지 않은 산림으로 구분된다. 따라서 북한의 잠재복원대상지 선정은 산림변화량 탐지와 현재의 토지이용 토지피복 정보를 반영해야 한다.

Table 6. Change detection including unchanged potential restoration area

Category	Past	Present	Remark
Forest	Forested	Forested	Unchanged
		Sparse forest Cropping land Built_up area the others	Changed
	Sparse forest	Sparse forest	Unchanged
Nonforest	Agriculture Built_up area Waterbody	Agriculture Built_up area Waterbody	

(2) 황폐지 복원계획과 목표

북한의 산림황폐지 복원계획에 관한 연구는 국제협력이외에 복원과정에 경제성을 확보하여 민간자본의 관심을 유발한다는 것을 전제로 UNFCCC 기후변화 메커니즘을 활용하고 있다(Table 7). AR/CDM(clean development mechanism)을 도입한 복원(이동근 외, 2007; 한기주와 윤여창, 2007)과 REDD를 적용한 연구(조장환 외, 2011; 오영출, 2013)가 있다. AR/CDM과 REDD 적용은 유용한 연구이지만 문제점도 발견된다. 첫째, 단순히 북한의 황폐지 면적만을 독립변수로 고려하였기 때문에 북한 전체를 단일 생태지역으로 간주하였다. 둘째, 이로 인해 조림에서 목재 수확기까지 20년 혹은 30년으로 상정하여 기후에 따른 목재성장 기간설정에 오류가 있다[38]. 셋째, 비합리적 산림황폐지 통계를 사용하였다. 세계은행의 북한 산림황폐지 추정(FAO, 2010; FAO 2011)은 '고난의 행군' 시절인 1995년에서 2000년대 초에 발생한 연간 산림황폐 비율을 대입하여 직선회귀 모델로 예측한 결과이다. 이 모델에서 2013년 현재 북한의 산림면적은 약 47,000㎢이다[39]. 넷째, 복원의 성공과 실패를 평가하기 위해서는 목표 지향적 복원계획이 되어야 한다(Xi et al., 2008).

Table 7. Existing studies suggested forest restoration methodology in North Korea

Source	Objectives	Project	Limitation
Han and Yeun, 2007	To estimate A/RCDM project on deforested area	20 years	- Not considered ecological factors - Analytic area makes no sense(using IBRD)
Cho et al., 2011	To verify the economic validity of the REDD project	20years	- Regard as one landscape level - Significant level of statistics
Oh, 2012	Estimation of A/R CDM and REDD as a forestry mechanism in North Korea	30years	- Regard as one landscape level - Not considered yearly mean forest biomass

38) 인도네시아 열대우림은 조림에서 목재수확까지 20년이 걸리지만 시베리아에서는 200년이 걸린다.
39) http://search.worldbank.org/data

제3장 재료와 방법

제1절 연구재료

1. 생태지역 공간변수

산림경관의 생태적 복원에 필요한 요인을 추출할 목적으로 구축되는 목적적 생태지도는 전통적 생태지역 변수인 지형과 기후변수 이외에 산림복원에 필요한 변수가 입력되어야 한다(Farmer et al., 2010; Fitterer et al., 2012; Andrew et al., 2013). 최고온도와 최저온도, 강수량의 많고 적음 그리고 건기와 우기의 차이는 식생의 생육과 관리에 영향을 미친다. 다른 환경이 적당하다면 토양수분함유량은 파종된 씨앗이 발아하고 유모가 활착하는 데 중요하고 자연복원에도 영향을 미친다. 2012년 「평양 FLR 국제세미나」에서 북한 산림의 '가장 좋지 않은 상황은 자연상태에서 수목의 낮은 발아율과 생존율 그리고 그것에 영향을 미치는 토양수분과 비옥도' 라고 언급하였다[40]. 현장투어에 참석했던 예루살렘 대학의 자연자원 관리 전문가 Hardiman 교수는 '북한의 토양은 생체량이 거의 파괴되어 유기질이 남아있지 않은 상태' 라고 기술하였다[41]. 그는 산림황폐지 복원 논쟁의 초점을 토양문제에 집중할 것을 즉석에서 제안하면서 '북한의 토양 황폐 문제는 과대하게 함유된 인의 양' 라고 하였다. 석회(gypsum)나 석회석(calcuim carbonate)을 뿌려서 중화시키고 영양인자를 뿌려주는 것이 산도를 중화시키는 가장 단순한 방법이다. '회복하는 데 10~15년은 걸린다' 고 진단하였다. 미국 메릴랜드 대학 Palmer 교수는 SCIENCE 잡지와의 인터뷰에서 북한의 농민들이 하천의 진흙토를 퍼다 농지에 객토작업을 하는 것에 대한 목격담을 기고하였다. '매우 우울하고 암담한 생태적 대 참사를 목격하고 왔다' 고 유기질이

40) 북한의 농업과학 아카데미 산림관리연구소 소속 박옥실과 토양과학연구소 백선식이 발표함.
41) SCIENCE, 2012. 335: 1425-1426(www.sciencemag.com)

고갈된 북한의 농토와 마른 토양 상태를 언급하였다.

지역에 따른 수목의 생산성은 토양수분과 유기질, 가용에너지, 지형에 기인한다(Fitterer et al., 2012). 지형은 온도와 수분 역동성 그리고 식물의 구성에 결정적 역할을 한다(Duro et al., 2007). 고도에 따른 종의 분포를 결정하고(Sarr et al., 2005), 공간데이터가 취합되어 저장되는 바탕이 된다(Trabucco, 2010). 변수가 지형 한가지인 모형보다는 기후인자와 결합한 모형에서 수목 분포에 대한 설명력이 더 높았다(Tatuhara and Antatsu, 2010). 건조한 환경에서 습윤한 환경보다 더 동질적인 정규식생지수가 나타났다(Dorman et al., 2013). 습윤한 상태에서는 남북 사면의 차이가 컸다. 건조한 환경에서는 고도에 따른 토질의 차이가 식생을 이용한 경관복원에서 제한요인(Zhou et al., 2008)이었다. 하지만 토양수분 함유량은 유묘의 초기 활착에 중요하였다(Chen et al., 2010). 지역 수종은 토층 내부의 토양층과 관계있고 어떤 식생이 지역 내에서 더 잘 자라는지 관찰하기 위해서는 토양유기질에 대한 변수가 필요하다(Loveland and Merchant, 2004; Hagrove and Hoffman, 2005; Bailey, 2005).

산림경관의 생태적 복원에 필요한 변수를 찾아서 입력하는 것은 복원대상지의 자연환경과 공간위계의 수준을 고려하여 결정된다. 생태지역은 유역보다 더 광범위하고 더 많은 인자들을 내포하고 있다(Bailey, 2005). 만일 계곡과 하천복원의 차원까지 복원을 확대하려면 유역도를 중심으로 환경 변수의 파라미터를 부여하는 것이 필요하다. 그러나 북한의 경우에는 연구 목적에 부합하는 유용한 GIS 자료의 구축 여부와 유·무에 따라 자료 선택에 한계가 많다. 그리고 본 연구는 지금까지 시도되지 않았던 생태복원 모형을 개발하는 기초연구로서 생태지역 수준에서 연구를 진행하는 것이 타당하다. 산림경관 생태적 복원모형에 유용한 생태지역도는 다음 공간자료에 의존하여 구축되었다(AX2_Figure 1).

(1) 지형

지형자료는 CGIAR-CIS에서 무료 제공하는 90m srtm DEM version 4.1을 내려 받아 가공하였다. 2003년에 NASA와 USGS가 공개한 3 arc second(90m) srtm은 빈 셀(void)이 많기 때문에 사용하기 위해서는 일일이 지형보정을 해야 했다. 2005년 8월에 품질을 향상시킨 srtm DEM은 정확도 검증 후 제공되었고(version 2), 2006년에는 빈 칸으로 남아있는 셀의 품질을 향상시켜 공개하였다. CGIAR-CIS에서 제공하는 srtm DEM[42]은 version 4로 2008년 9월에 공개되었다. version4는 새로운 VFM(void fill methodology)알고리즘과 보조 DEM을 이용하여 품질을 새롭게 향상시켜서(Mouratidis et al., 2010), 5도 x 5도 해상도의 타일로 무료 제공된다.[43] 한반도 전체를 커버하기 위해 5 degree by 5 degree로 제공하는 7개의 타일(tile)을 내려 받았다. 타일을 모자이크(mosaic) 한 후 좌표체계를 GCS WGS84로 맞추고 한반도 경계파일로 마스킹 하였다. 고도값이 '0'인 지역을 육안관찰 하였다. 해안지역, 하천 하구를 에워싼 평야지대, 하천하구 등에서 '0' 값을 보였다. 개마고원, 백무고원, 지리산, 태백산맥 등 육지의 관찰지점에서 null값을 보이지 않았다. 셀 크기 30 arc second(0.008333 degree, 이하 1km로 칭함)에 맞추어 공간해상도 90m를 1km로 nearest neighbor 방법으로 리샘플링 하였다. 1km 해상도의 DEM은 환경 변수들의 바탕이 되었다. 90m 해상도의 srtm은 생태지역 분류 후 기타 분석에 사용하였다.

(2) 기상자료

WorldClim에서 제공하는 공간해상도 1km(30 arc second)의 월별 평균 기온과 월별 강수량 version1.4(3번째 개정)를 내려 받아 변수를 생성하였다. WorldClim 자료는 CGIAR-CIS에서 제공하는 90m srtm DEM을 바탕으로 공간해상도 1km로 리샘플 한 것이다(Hijmans et al., 2005).

42) Direct FTP link to the SRTM v4 data: ftp://srtm.csi.cgiar.org/SRTM_v41/
43) http://www.cgiar-csi.org/

ANUSPLIN 프로그램[44]을 사용하여 1950년에서 2000년까지 기상관측 자료를 1km(30 arc-second) 공간해상도의 DEM에 thin plate smoothing spline 내삽하여 생성하였다. 이 때 독립변수는 경・위도와 고도가 사용되었다. 데이터의 품질이 가장 좋은 GHCN[45]에서 제공된 데이터를 기본으로 사용하고 데이터가 부족한 지역은 최근 1981-2010년 데이터를 이용하여 월간 값을 보간 하였다. 에러 데이터를 제외하면 전 세계 47,554 관측소 지점의 강수량, 24,542 지점의 평균기온 그리고 14,835 관측소의 온도 최대치과 최소치를 사용하였다. 한반도 관측지점은 남한 78 곳이고 북한은 27개소이다(AX2_Table 1).

(3) 토양수분 함유량

WorldClim과 CGIAR-CSI의 PET[46]와 기후 데이터를 이용하여 수행된 월별 토양수분 지도를 내려 받아 여름철 최대값, 겨울철 최소값, 연 평균값, 변동계수(coefficient of variance; COV) 변수를 제작하였다. 셀 크기와 좌표 시스템은 WorldClim의 1km(30 arc-second) 해상도에 맞추어 GIS포멧으로 제공된다. 하지만 셀 개수를 맞추고 데이텀 충돌을 막기 위해 (1)의 DEM으로 리샘플링 하였다. 토양수분함유량 모델은 기후, 식생, 토양의 속성을 이용하여 공간적 분포지도로 만들어졌다(Trombetti et al., 2008). WorldClim의 1950년~2000년까지 월 평균 강수량(precipitation; Prec)과 월간 잠재증발산량(potential evapotranspiration; PET), 현존 증발산량(actual evapotranspiration; AET)의 월간 분포, 유출(runoff; R), 실측 토양수분 함유함(soil water contents; SWC)이 사용되었다. 토양수분 함유량(SWC; soil water contents)은 식생의 증발산 과정에 투입되는 수분 최대량(SWC_{max}) 350mm를 100으로 고정하고, 식생의 뿌리 깊이 2m를 유지

44) ANUSPLIN은 Australlian National University에서 잡음이 있는 다변량 독립변수인 기후 데이터의 표면을 보정하기 위한 것으로 FORTRAN 프로그램을 포함한 소프트웨어이다. 점과 면 데이터를 구분하며 평균오차를 계산하여 제공한다.
45) Global Historical Climatology Network
46) Potential EvapoTranspiration

할 수 있는 토양의 질감을 추정한 값이다. 작물의 계수(crop coefficient)는 1, 강우 차단계수(rain interception coefficient)는 0.15, 근계의 최대 SWC는 350mm로 고정하여 적용되었다. SWC는 토양에서 증발산이 가능한 총 량의 최대, $SWC_{\max}$를 넘지 못한다. $SWC_{\max}$를 넘는 월간 유입수는 유출(R_m)로 산정된다. 모델은 수년 동안 반복 측정하여 초기 SWC를 산정한 값을 대입하였다(Trabucco, 2010). 모형(Trabucco and Zomer, 2010)에 입력된 SWC 변화량은 수분의 수요와 공급의 균형(balance budget)을 뜻하며 다음과 같은 식에 의해 제작되었다(Eq. 1).

$$\Delta SWC_m = EPrec_m - AET_m - R_m, \text{ mm/month} \quad \text{.....(Eq. 1)}$$

ΔSWC_m, 토양수분 함유 변화량, $EPrec_m$, 유효 강수량, AET_m, 현존증발산량, R_m, (지하수면과 지표면의)유출성분이다.

토양수분 변화량 알고리즘(Volkoff et al., 2012)은 식생이 피복된 지역의 토양수분 함유량 현장조사 자료, 식생이 시들기 시작하는 위조점(wilting point)의 토양수분 함유량 현장조사 자료, 그리고 식생의 근계를 현장 조사한 자료를 바탕으로 만들어진 알고리즘에서 생성되었다. 식생의 증발산 프로세스를 위한 가용토양수분의 최대량($SWC_{_max}$)은 식생이 양호한 지역의 현장 토양수분함유량(field contents)에서 식생이 시들기 시작하는 위조점(wilting point)의 토양수분 함유량을 빼고 뿌리깊이(rooting depth, RD)를 곱한 값과 같다(Eq. 2).

$$SWC_{\max} = RD * (SWC_{fc} - SWC_{\wp}) \quad \text{.....(Eq. 2)}$$

따라서 SWC가 100에 가까운 지점은 토양수분 함유량이 많은 지점이

고 대개 산림이 양호한 지역이다. SWC가 0에 가까워지면 토양수분이 메마르고 식생피복이 거의 없는 지역이다. SWC 변동계수 값이 크면 그 지역의 토지피복이 역동적으로 변하는 것을 의미한다. 경작지나 계절적 개벌지 등이 이에 속한다. 변화량이 크다는 것은 그 지역의 토양수분 스트레스 지수가 크다는 것을 의미한다. COV가 0을 향해 가까우면 식생이 년 중 양호한 상록침엽수림이나 건조하고 메마른 토양 혹은 도시지역이다. 1을 향해 가까워질수록 식생의 피복 변화가 큰 농경지에 해당한다.

(4) 일사량

공기 중 온도는 일사량에 의존하고(Kumar et al., 1997), 일사모델은 지형의 온도효과에 영향을 준다. 일사량과 관련된 변수는 식물의 형태와 생장을 지원한다(Franklin, 1995). 일사량은 소나무 좀벌레 공격 지점을 예측하는 산림모델도 사용되었다(Coops et al., 2006; Wuler et al., 2006b). 따라서 지형이 복잡한 북한의 산림의 상태를 예측하거나 설명하는 모델에서 일사량은 중요한 변수이다. 연간 집적된 총 일사량은 ArcGIS 10.1의 Spatial Analysis의 Area Solar Radiation algorithm은 Hemispherical Viewshed Algorithm에 기초하여 계산되었다(Rich et al., 1994; Fu and Rich, 2000; Fu and Rich, 2002).

전천일사량($Global_{tot}$)은 직달일사(Dir_{tot})와 산방일사(Dif_{tot})를 각각 합한 일사량으로, 단위 시간당 watt hours의 단위로 표시된다(Eq. 3). 경관스케일에서 직달일사량은 전체 DEM에서 위도 1° 범위 내에서만 유효하게 디자인되었기 때문에, 한반도가 걸쳐있는 북위 33도에서 43도까지 계산하여 평균값을 산출하였다. 일사량 변수 SS_{mean}은 하지(6월 23일)를 전후하여 한 달(±15일)을 일사량 최대치로(Eq. 4), 일사량 변수 SW_{mean}은 동지를 전후하여 한 달 일사량 최소치이다(Eq. 5).

$$Solar\,Radiation_{kor} = Dir_{tot} + Dif_{tot}$$ .....(Eq. 3)

$$SS_{mean} = mean\Sigma Dir(33 + ... + 43) + mean\Sigma Dif(33 + ... + 43)$$.....(Eq. 4)

$$SW_{mean} = mean\Sigma Dir(33 + ... + 43) + mean\Sigma Dif(33 + ... + 43)$$.....(Eq. 5)

(5) 생산성

식물이 흡수하는 방사에너지의 비율은 식물 생장에 관련되기 때문에 fPAR(fraction of photosynthetically active radiation)은 바이오매스 생산 측정에서 중요한 입력변수이다. 장기간 구름 영향을 완전히 제거하지 못한 fPAR(MCD15A2)는 지표식생의 유효광합성복사 흡수율에 오차를 발생시킬 수 있다(Zhao et al., 2005; 강신규 외, 2005). 그러나 한반도 GPP 산출에 입력되는 fPAR 자료는 구름효과를 저감한 경우, GPP에 미치는 영향은 기상자료의 오차가 주 원인이고 fPAR 오차는 부차적인 것으로 밝혀졌다(김영일 외, 2007). fPAR 생성 알고리즘은 스펙트럴 밴드 400-700nm 사이의 BRDF(bidirectional reflectance distribution function)를 이용하여 태양각도(sun angle), 배경반사(background reflectance), 시야각도(view angle)를 참작한다(Tian et al., 2002). 그러나 식물이 흡수하는 PAR의 비율을 결정하는 중요한 두 가지 요소는 온도와 강수량이다.

fPAR 추정치 범위는 0%에서 100%까지다. 0은 나지나 설경(snow cover landscape)을 1은 밀도가 높은 식생피복을 의미한다(Coops et al., 2008). 본 연구에 사용된 식물의 생산성 변수는 MCD15A2로 불리는 MODIS Terra 8-day fPAR 자료에서 생성되었다. MCD15의 fPAR/LAI 자료는 8일 composite 자료로 대기보정, 기하보정, 방사보정 등 위성 전처리 과정을 수행한 후 사용자들에게 제공된다(NASA; Reverb/ECHO). 내려받은 fPAR은 version5로, 독립변수를 이용하여 파일과 화소(pixel) 수준의 품질(quality control)측정과 정확도 검증을 마친 후 제공된다. 내려 받은 영상을 MRT(MODIS reproduction tool)에서 불러와 sinusoidal 그리드를

GCS WGS84로 좌표 변환하였다. 모자이크 처리한 영상을 ENVI에 불러들여 1km 해상도의 한반도 srtm을 가지고 nearest neighbor 기법을 적용하여 resampling 하였다. 8day-composite fPAR 영상의 null값과 전 처리 과정에서 제거되지 못한 구름 제거를 위해 24day fPAR maximum 값을 구하였다. 24days maxima를 이용하여 여름 3개월 최대치, 겨울 3개월 최소치, 평균, 그리고 변동계수를 변수로 구축하였다.

2. 잠재복원대상지 공간변수

(1) AVHRR

AVHRR(advanced very high resolution radiometer)는 1981년 NOAA(national oceanic and atmospheric administration)에 의해 기상관측을 위한 센서로 개발되었다. 식생과 해수면 온도분포 등을 분석하여 무료 제공하고 있고 토지피복 특성, 구름의 상태, 표면온도를 분석하는 데 주로 이용된다. 매일 두 차례 지구 전체에 대한 영상을 수집하여(NOAA AVHRR, 2004) 제공하기 때문에 구름의 영향이 없는 영상을 가공할 수 있다. 따라서 식물의 생물계절을 이용하여 토지피복을 자료(USGS global landcover, 2004)를 만들거나 지표 환경의 변화를 추정할 수 있는 장점을 가진다. 공간 해상도 0.01° (1.09km)로 제공되기 때문에 비교적 광역 스케일 혹은 국가수준이나 경관단위에서 생태계의 연간 식생패턴을 측정하는 데 사용된다(Fujiwara and Kudoh, 2005; Eidenshink, 2006). 1988년 9월부터 NOAA_11 위성에서 수신된 AVHRR 영상을 가공하여 제공하는 NDVI 영상을 GLCF(global land cover facility)의 GIMMS(global inventory modeling and mapping studies)에서 ftp 서버를 통해 GeoTIFF 포맷으로 내려 받았다. 생태지역도를 구축할 때 사용한 DEM에 맞추어 좌표체계 및 공간해상도를 리샘플링 하였다. AVHRR NDVI 영상은 원래 IGBP(international geosphere-bioshpere programme)에서 전 세계 식생변

화 연구를 위해 채택된 것이다(Townshend, 1992; Hansen et al., 2000). NOAA-7, 9, 11, 14, 16, 17의 AVHRR 채널 1과 2를 보정(calibration)하여 각 년도마다 24장의 NDVI영상을 제공한다. 내려 받은 영상은 MVC(maximum value compositing) 방법으로 구름과 수증기의 영향을 최소화하였다. 월별 평균값으로 변환하여 12개월 영상을 만 든 후 북한 경계파일로 마스킹하였다. 무감독 ISOData nearest neighbor 방법으로 군집을 생성시켜 생물계절 특성을 이용하여 수계, 산림, 농경지, 도시화지역으로 분류한 후 산림과 비산림 지도로 최종 이분하였다(AX2_Figure 2). NOAA-11, 14, 16 AVHRR 시계열 영상을 이용한 한반도 NDVI 분석(Fujiwara and Kudoh, 2005)에서 한반도 평균 NDVI는 0.6을 넘지 않았다. 본 연구에 사용된 AVHRR 영상에서도 비슷한 값을 기록하였다.

(2) MODIS Level 2 type 토지피복도

최근 년도 Level 2type 북한 토지피복도는 250m 공간해상도의 MODIS NDVI 영상을 이용하여 만들어진 것이다(유재심 외, 2011). NASA에서 제공하는 영상의 획득은 Reverb/ECHO 사이트에 통합하여 일괄 제공하고 있다. 분석에 사용한 본 영상은 2010년 당시 NASA의 WIST(warehouse inventory search tool)을 통해 내려 받았고, MRT를 통해 sinusoidal로 제공되는 영상을 UTM으로 좌표 전환하여 6개의 타일 영상을 모자이크하였다. 이를 ENVI로 불러들여 MVC nearest neighbor 방법으로 구름과 수증기의 영향을 제거하였다. 북한 경계파일로 마스킹하여 ISOdata 무감독 분류 방법으로 영상을 분할 한 후 생물계절 특성을 적용하여 최종 10개 항목의 토지피복도를 작성하였다(유재심, 2011). 분류된 영상은 북한을 커버하는 SPOT xs5 영상을 이용하여 통계적 추론 방식으로 검증하였다(Jensen, 2004). 산림영역에서 상록침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼효림은 물론 남한과 다른 북한의 특성인 낙엽침엽수림과 알파인을 분류하고 무립목지를 범주화 하여 분류 정확도를 높일 수 있었다.

개간산지 항목은 따로 분류하지 않았고 작물의 생물계절 특성에 따라서 논과 밭을 구분하였다. 최종 토지피복도는 본 연구의 생태지역도 작성에 사용된 DEM에 맞추어 nearest neighbor 방법으로 공간 해상도, 데이텀, 행과 열을 맞추어 리샘플링 한 후 분석에 사용하였다(Figure 19, right).

(3) MODIS Level 3 type 토지피복도

Level 3 type 토지피복도는 Level 2 type 토지피복도가 중분류의 개념이라면 그의 하위개념으로, 수역을 제외한 시가화 지역, 농경지, 산림에 대하여 각각 세분류하여 총 27개의 토지피복을 나타냈다(유재심 외, 2011). 산림영역의 낙엽활엽수림은 아한대 낙엽활엽수림, 참나무림, 낙엽활엽수 혼효림으로 구분하였다. 낙엽침엽수림은 낙엽침엽수 순림과 낙엽침엽 우점림으로 나누었다. 상록침엽수림은 삼송[47]과 소나무 순림, 삼송림과 소나무림 우점식생으로 구분하였다. 혼효림은 삼송과 낙엽수의 혼효림, 소나무와 낙엽활엽수의 혼효림으로 분류하였다. 알파인 산림은 상록침엽성 관목이 나타나는 알파인과 알파인 초지특성이 나타나는 지역으로 분류하였다. 무립목지는 피복의 정도에 따라 개벌지, 관목지, 상록성 수목이 있는 나지, 초본성 나지 등으로 세분하였다(Figure 13).

(4) 북한 생태지역도

생태적 요인을 도출하기 위해 분석에 사용되는 북한 생태지역도는 제3장에서 제1절 생태지역 공간변수를 이용하여 구축한 것이다. 생태적 속성을 포함하는 한반도 생태지역도는 분류 타당성을 확보한 후 북한 경계파일로 마스킹하였다(AX2_Figure3). 생태지역 별 우점 토지피복 추출 그리고 생태지역 별 우점종의 추출에 사용되고 황폐지의 생태적 요인 도출에도 사용된다(데이터 구축과 생성방법 제3장 제1절과 제2절 참조).

47) 북한의 삼송(三松)은 북부 고원지대에 자생하는 종비나무, 분비나무, 가문비나무를 가리킨다.

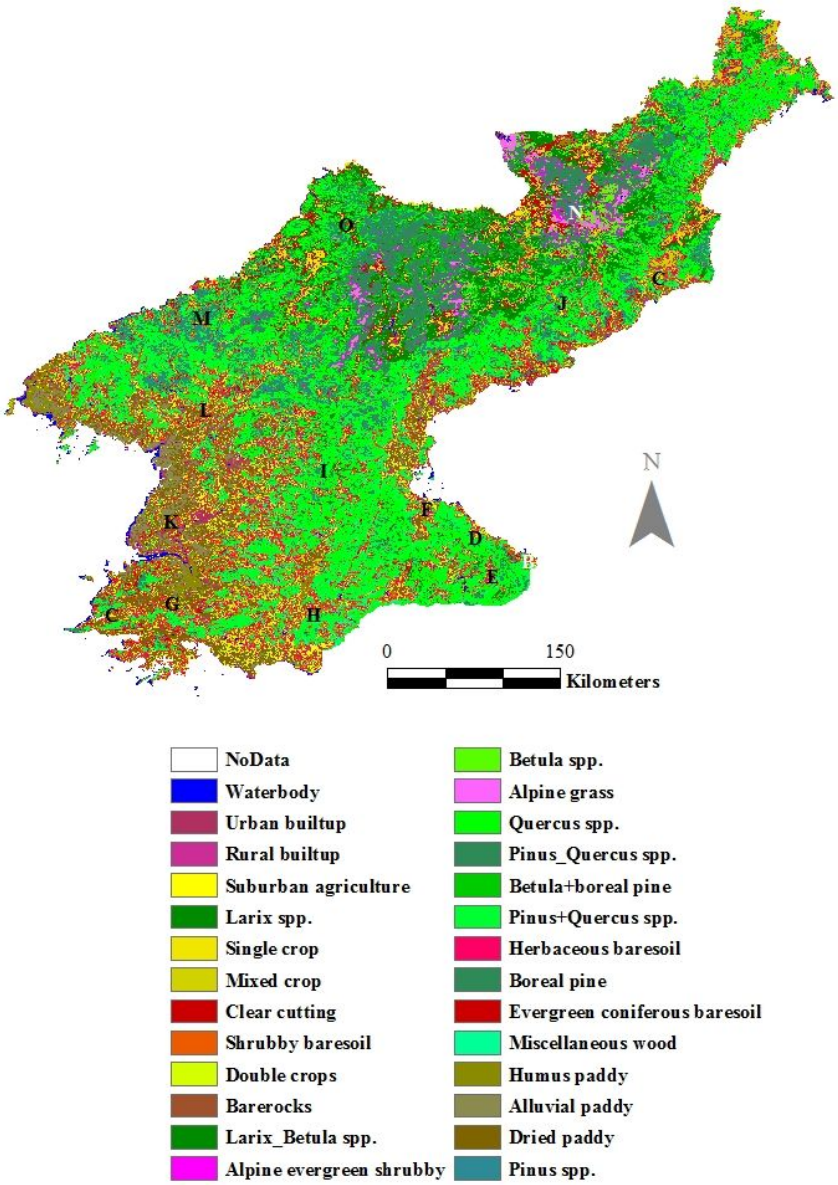


Figure 13. Level 3 type land cover map of North Korea(Yu et al, 2011 and modified legend)

제2절 분석 방법

1. 생태지역 유형화

(1) 주성분과 다변량 군집

선행연구에서 대부분의 생태지역은 주성분 분석(principle component analysis)과 군집분석(clustering analysis)을 통해 모델링되었다(Williams and Masterton, 1983; Pan et al., 2000; Jenerette et al., 2002; Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008; Coops et al., 2009; Fitterer et al., 2012; Andrew et al., 2013). 이 중 가장 많이 사용된 방법은 주성분 분석과 MGC(multivariate geographic clustering)이다. MGC는 비계층적 k 평균 알고리즘을 사용한다(Eq. 6). 각 데이터가 유클리디안 거리로 군집의 중앙에 가장 가깝게 분산이 최소화하도록 한다. 각 군집의 중앙은 가장 가까운 데이터들의 평균에 의해 지리적 좌표가 재배치된다(Hastie et al., 2009). k 평균 군집은 두 가지 범주(realm)에서 가역적 변환이 이루어진다. 이차원 지리공간과 다차원 데이터 공간이다(Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008; Kumar at al., 2011).

$$\min_{c,m_{k_1}} k \sum_{k=1}^{k} \sum_{c(i)=k} \|x_i - m_k\|^2 \quad \text{.....(Eq. 6)}$$

첫째, 객체들은 군집의 중심 값 C를 임의로 추출한다. 둘째, 나머지 객체들은 유클리디안 거리가 가장 가깝다고 기대되는$\{m_1, ..., m_k\}$ 군집에 할당된다. 셋째, 각 군집 내에서 거리를 최소화 하는 새로운 중앙 $C_{(i)}$를 구해서 군집화 한다. 넷째, 임계 값 혹은 기준함수가 수렴할 때까지 위의 과정을 반복한다.

생태지역 유형화는 22개의 변수에 주성분 분석을 수행하여 22차원 공간에 포함시키는 작업이다. 22개의 성분을 데이터 공간에서 22개의 직교축을 형성시켜서 각 셀을 배치하였다. 22차원 데이터 공간에서 비슷한 셀은 유클리디안 분리거리로 코딩된다. 그런 다음 셀은 지리공간에 유사한 것끼리 모여서 3개의 첫 주성분으로 생성된 R(red), G(green), B(blue) 세 칼라로 구성된 지도를 만든다(Hargrove and Hoffman, 2005). RGB에 조합된 독특한 칼라는 생태지역에 상대적으로 기여도가 높은 첫 번째 세 요인 색의 혼합이다(Figure 15). 이때 사용된 주성분 분석은 전통적 방법인 차원 축소를 위해 사용된 것이 아니다. 주성분을 통해 생태지역을 차별화하는 모든 데이터의 변동성(variability)을 추출하고, 복원을 지원하는 환경의 생태적 요인을 추출하며, 군집에 칼라를 할당할 때 주성분의 처음 세 칼라에 부합하게 코딩하는 3가지의 역할을 하고 있다(Hargrove and Hoffman, 2005; Williams et al., 2008).

본 연구에서는 식물구계, 기후대 구분과 GIS 모델링에 관한 선행 연구에서 경험적으로 획득한 결과를 k로 입력하였다. k=5(Nakai, 1919; 1935), k=6(김용만, 1990), k=7(오수영, 1977), k=8(이우철과 임양재, 1978; 2002; 공우석, 1989), k=11(김원주, 2004), 그리고 k=11을 입력하였다. 그러나 k=11의 군집거리 분할이 지리적으로 부적당하게 배치되어 더 많은 k를 변화시키면서 적당한 군집수를 찾았다. 분류된 생태지역도의 명칭은 ‘Ecoregion’ 앞 ’E’와 입력된 k를 조합하여 만들었다(AX3_Figure 1).

(2) 생태지역 차별성과 유사성

생태지역의 통계적 의미는 생태적 요인의 평균 차에 의하여 생태지역 군집 간에는 차이가 발생하고 생태지역 내에서는 유사성이 존재한다는 것이다. ANOVA는 어떤 생태지역에 진입된 변수의 평균 중 적어도 하나는 다른 생태지역 변수의 평균과 통계적으로 다르다(p *value* $<$ *0.001*)는 것을 확인하는 경험적 방법이다(오택섭과 최현철, 2003). 경험적

생태지역 k = 5, 6, 7, 8, 11, 15 각 군집의 평균이 적어도 하나는 통계적으로 차이가 있는지 SPSS version 21의 one-way ANOVA, homogeneity of variance test 하였다(Field, 2009). 집단 간 평균제곱을 집단내의 평균제곱으로 나누어서 생성된 Levene 통계량(f statiscs)이 유의수준 95%를 넘으면 각 생태지역이 통계적으로 유사성을 나타낸다(*p-value > 0.05*). 그러나 각각의 군집은 통계적으로 동일하지 않으면(*p = 0.000*) 차별성을 확보한 생태적 요인은 등분산을 가정하지 않는 Dunnett T3 방법으로 사후 다중 비교하여 집단 내에서 유사성 요인을 비교하였다(*p-value > 0.05*). Dunnett T3 test를 위한 3단계 범주화(Jenks, 1997)는 ArcGIS version 10.1의 natural break 분류를 이용하였다(Table 8). 기술적으로 평균에 차이가 있지만 통계적으로 평균에 차이가 있다고 말할 수 없는 부분을 찾아서 집단내의 유사성을 밝혔다(Fitterer et al., 2012).

(3) 생태지역 분류 타당성

1) 생태지역의 자연식생

생태지역 경계의 형성은 변수의 차별성에서 기인한다. 때문에 변수의 통계적 검정을 통해 군집의 타당성을 확보할 수 있다. 그러나 각각의 생태지역이 지상에서 나타나는 표현형을 통해 타당성을 확보할 필요가 있다. 남한의 현존식생 중 자연식생과 생태지역도를 중첩하여 지역의 특성을 대표할 수 있는 자연식생에 차이가 있는지 파악하였다(Austin et al., 2008; DeLong et al., 2010; Fitterer et al., 2012). 식생의 자연서식지는 경험적으로 일사량, 고도, 향, 기후, 토양 등 생태적 요인과 관련이 있다고 알려졌기 때문이다(AX2_Figure4). 남한 생태지역 자연식생 설명력 결과를 바탕으로 북한의 생태지역도 타당할 것으로 추정하였다.

2) 선행연구와의 비교

구축된 생태지도는 한반도 지역구분 연구에서 널리 알려지고 빈번하게 인용되고 있는 생물지리구(공우석, 1998)와 한반도 기후대(김용만, 1990) 연구 결과와 비교하였다. 변수의 사용, 분석방법, 경계형성 결과를 비교하였다. 본 연구에서 구축된 생태지역이 지니는 지형, 토지피복, 자연식생 반영의 장점과 특성을 파악하였다.

3) 생태지역 명명

생태지역의 특성을 기후대, 지역, 지형을 이용하여 명명하였다. 목적적 생태지역도는 목적에 부합하는 명명을 한다. 그러나 일반적으로 통용되는 명칭과 생소해지는 특징이 있다. 그래서 생태지역도를 활용하여 정책에 반영하는 국가들은 생태지역 명명위원회를 구성하여 명명한다. 본 연구에서는 연구자가 명명하고 전문가의 감수를 받는 과정을 거쳤다.

Table 8. Categories used to be 3 ranked with the average ecoregion value

Variables	Categories		
	Low	Medium	High
alt	0-438	438-1050	1050-2589
Annual mean temp.	-62-44	44-95	95-160
Temp. seasonality	6984-9542	9542-10860	10860-13443
Max temp. of warmest month	145-235	235-273	273-311
Min temp. of coldest month	-302 ~ -175	-175 ~ -98	-98-28
Temp. annual range	266-369	369-419	419-516
Mean temp. of w. quarter	83-172	172-213	213-255
Mean temp. of c. quarter	-224 ~ -101	-101 ~ -32	-32-72
Annual precipitation	546-957	957-1245	1245-2137
Precip. of w. month	128-243	243-331	331-462
Precip. of driest month	4-19	19-30	30-86
Precip. seasonality	23-75	75-91	91-112
Precip. of w. quarter	313-569	569-742	742-1034
Precip. of d. quater	14-64	64-101	101-278
Soil water contents_max	64-84	84-94	94-100
swc_min	47-71	71-83	83-100
swc_mean	58-83	83-92	92-100
swc_cov	0-5	5-9	9-15

2. 산림경관 복원요인 추출

(1) 산림변화 탐지

1) 시계열 산림변화량

NOAA/AVHRR NDVI 영상을 이용한 1989년 산림과 2008년 MODIS NDVI 영상을 무감독 분류하여 제작한 Level 2 type 북한 토지피복도를 DEM에 맞추어 리샘플링 하였다. 위 토지피복도는 각 변수의 특성과 영상 획득 방법에 따라 해상도, 데이텀, 좌표체계 등이 모두 다르기 때문에 분석에 어려움이 따른다. 따라서 생태지도를 기준으로 각기 다른 각 분야 해상도의 지도를 통일하였다. 분류 후 변화탐지는 가장 널리 쓰이는 정량적 변화탐지 기법으로(Jensen, 2004), 변화탐지 행렬을 사용하여 화소단위로 입력하였다. 초기 입력된 화소의 토지피복이 최종 입력된 화소의 토지피복과 유의하게 다른 것을 찾는 단순한 방법이다. 1989년에 산림이었다가 2008년에 밭과 논의 경작지로 변한 화소, 그리고 산림이었다가 무립목지로 변한 화소를 찾아 통계를 산출하였다. 통계 산출에는 분류지도에 수반된 각종 오차도 같이 수반되기 때문에 분류정확도가 최대한 높아야 하며 초기 입력된 지도와 최종 입력된 지도의 좌표는 물론 공간해상도와 데이텀이 동일해야 한다(Jensen, 2004).

2) 잠재복원대상지 현황

1989년 영상에서 잠재 산림이었다가 2008년 토지피복도에서 경작지로 토지이용이 전용되거나 무립목지가 된 산림황폐지를 대상으로 생태지역 별 분포현황을 파악하였다. 잠재복원대상지 지도에는 산림이었다가 도시화 지역 등 기타 토지이용지역으로 변화된 면적은 제외하였다. 생태지역도를 북한의 경계 파일로 마스킹하여 무립목지 지역과 농경지로 전용된 지역을 비교하였다. 생태지역과 황폐지역의 화소끼리 연산하여 생태지역별 잠재복원대상지 분포 현황을 파악하였다.

(2) 생태요인 추출

잠재복원대상지를 앞서 구축된 생태지역과 중첩하여 각 생태지역별로 요인분석을 실시하였다. 산림 전용지지와 생태지역의 관계, 무립목지와 생태지역의 관계를 탐색하기 위함이다. 첫째, Moran's I 지수를 이용하여 잠재복원대상지가 전국에 랜덤하게 분포하는지 특정 지역에 국지적으로 분포하는 지를 평가하였다(Alselin et al., 2000). 둘째, 산림이 황폐화된 지역의 생태적 요인은 이진 로지스틱 다중회귀분석을 통해 탐색하였다(Dubovyk et al., 2013). 변화된 지역을 1로 변화되지 않은 지역을 0으로 하고 설명변수는 요인 분석을 통해 무립목지와 농경지로 변화된 지역에 공통으로 진입한 요인 1과 2를 사용하였다(Table 9).

이항 로지스틱 다중 회귀분석은 이진형 종속변수와 공변량(독립변수)의 인과 관계를 설명할 수 있는 방법이다. 1989년에서 2008년 사이에 변화된 북한지역의 잠재 산림황폐지에 영향을 준 생태적 요인을 전역적으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 이진 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 언제나 두 가지여서 어떤 사건이 일어날 확률 p와 그 사건이 일어나지 않을 확률 $(1-p)$로 이분된다(eq. 7). 따라서 예측된 종속변수 황폐지가 독립변수와 정(+)의 관계이면 1에 가까운 확률 값을 갖고 부(-)의 관계이면 0에 가까운 확률 값을 갖는다(eq. 8).

p 개의 독립변수가 있을 때 절편 β_0와 모수 β에 대한 선형결합 z,

$$z = \left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_p x_p \quad \text{.....(Eq. 7)}$$

$$P\left(\frac{y=1}{x_1, \cdots x_p}\right) = p(x) = \frac{\exp(z)}{1+\exp(z)} \quad \text{.....(Eq. 8)}$$

이항 로지스틱 다중회귀식에 진입하는 공변량을 제거하는 검정방법

으로 단계적 전진법인 Wald 통계량(stepwise forward)을 사용하였다. 모형 내의 모든 변수에 대해 wald 통계량을 조사하여 유의수준이 가장 큰 변수 중 기준 절단값(0.1)을 초과하면 모형에서 제거시키는 방법이다.

본 연구에서는 모형의 적합성이나 예측성을 분석하기 보다는 1989년에서 2008년 사이에 산림이 변화된 지역에 영향을 미치는 생태적 요인을 탐색하는 것을 주 목적으로 한다. 따라서 산림황폐지의 생태적 경향을 보여주는 지표를 이용한 이항로지스틱 다중회귀 결과는 잠재 산림황폐지역의 생태적 유발요인을 탐색하여 산림경관복원에 필요한 전역적 생태적 요인을 설명하는 데 적당하였다(Dubovky et al., 2013).

Table 9. Dependant variables used to binary logistic analysis.

Category	Variables	Explain
Forest	0	unchanged
	1	Degraded
Damaged forest	0	unchanged
	1	to sparse forest
	0	unchanged
	1	to shifting cultivation

(3) 생태지역별 토지피복과 우점식생

SPOT5xs영상을 활용한 통계적 추론에 의한 정확도 검증을 마친 Level 2 type의 토지피복도(유재심 외, 2011)를 이용하여 생태지역별 우점피복을 파악하였다. 생태지역별 우점식생은 Level 2 type을 세분류한 Level 3type 토지피복도에서 추출하였다. 북한의 생태지역과 행정구역을 중첩하여 행정구역에 우점하는 수종과 조림 권장수종을 추출하였다(AX3_Table 6). 북한에서 발행한 산림자원조사 지표상 산림경영지대별 산림수종의 지리적 분포와 수종구분에 관한 논문(산림논총, 1998; 리영진과 조금선, 2008; 김광보와 김경훈, 2010[a,b])을 참조하였다. 논문의 표기에

서 1998년에서 2008년 사이에 북한의 경영지구가 세분화된 것으로 확인하였다. 그러나 정보가 부족하여 분류표에 반영하지는 못하였다. Level 2 type의 토지피복도를 기본으로 Level 3 type의 산림항목별 우점식생 점유율을 검토하여 두 가지 항목의 명칭을 수정하였다(Figure 13). Abies spp., Picea spp.의 북부지역 삼송림은 Boreal pine으로 하였다. Alnus spp, Robinia spp. Alder 등 기타 낙엽활엽수림은 Miscellaneous woods로 수정하였다.

3. 전문가 설문을 통한 복원목표 선정

(1) 복원목표 설문

산림경관의 생태적 복원은 생태지역의 환경적, 사회·경제·문화적 요소를 다기준 평가하여 복원목표를 설정하고 목표에 부합하는 하위 위계의 복원을 지향한다. 그 기초 연구로서 생태지역 수준에서 복원모형을 개발하는 본 연구의 복원목표 선정에서는 분석된 생태요인과 경관정보를 정확하게 해석할 수 있는 전문가의 역할이 중요하다. 본 연구에서 전문 설문을 중요시 하는 것은 다음 네 가지 이유 때문이다. 첫째, 북한 현지의 이해당사자가 직접 참여하는 연구가 아니며 둘째, 데이터 기반 생태요인 정보를 일반인들이 해석하기에 어려움이 많다. 셋째, 현재 산림경관 정보를 미래 복원목표와 연계하는 것은 전문가의 경험과 직관이 필요한 분야이고 넷째, 북한 산림의 생태복원 모형 개발에 산림 및 생태복원 전문가의 참여가 의의가 있을 것으로 판단하였다. 연구 주제와 연구 설계가 아무리 합리적이라 할지라도 경험할 수 없는 생태계에 관해 경험적 지식을 바탕으로 복원목표를 선정하는 것은 전문가의 편향된 정보가 반영되어 잘못된 의사결정을 유도할 수 있는 단점이 있다. 이런 현상을 방지하기 위해 복원하고자 하는 지역의 생태적 요인, 토지피복과 토지이용, 잠재복원대상지 우점식생 등을 종합하여 경관정보를 각각 생태지역

위치도(부록; 설문조사서)와 함께 전문가에게 제시하여 복원목표를 선정하도록 하였다. 복원목표 대안 6가지는 생태지역별로 장기적 관점의 사회·경제적 차원의 목표이다(Figure 14). 참여전문가는 산림, 생태학, 복원분야, 기후변화를 연구한 박사학위 소지자와 북한 산림복원과 직·간접적으로 관련된 기관에서 3년 이상 근무한 석사학위 이상 소지자로 제한하였다(Appendix).

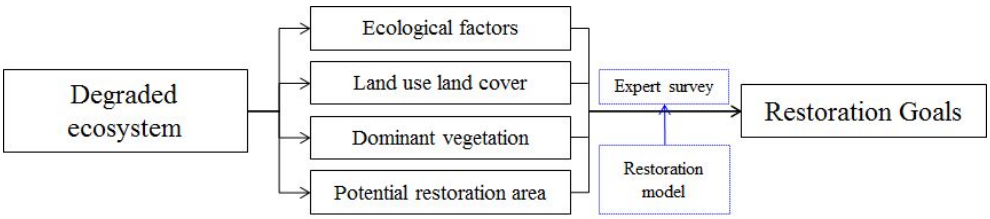


Figure 14. Ecological restoration goal setting process for forest landscape in North Korea

(2) 생태계 구조-기능 해석

SER(2004)에서는 생태복원은 황폐하고 파괴된 생태계를 회복하는 것을 도와주는 과정이라고 정의하였다(SER 2002 as cited by Hobbs, 2004; Choi, 2007). 이 후 생태복원의 새로운 패러다임은 과거의 경관을 되돌리려는 것보다는 미래의 더 큰 가치를 위한 생태적 기능회복(Choi, 2007)과 구조 안정을 통해 주민의 삶의 질을 향상시키는 것으로 정착되었다(Perry and Millington, 2008; Wimberly et al., 2013). 전문가 설문결과 생태지역별로 선정된 복원목표를 생태계 기능-구조 직선모델에 버블 다이어그램으로 배치하여 시각화 시켰다. 산림농업, 용재림, 기후변화, 생태관광, 보전림, 생물다양성 목표의 장·단점을 생태계 구조-기능모델로 해석하였다. 생태계 구조-기능 직선모델은 생태지역 복원목표가 사회·경제적 가치를 지향하기 때문에 단 기간의 기능향상을 위한 실천적 목적이 부족한 단점을 하위목표 설정을 통해 보완해야 하는 것을 설명한다.

제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

제4장에서 생태지역 유형화, 북한 산림황폐지 복원요소 도출, 생태지역별 복원목표를 선정하는 실증적 연구를 통해 북한 산림경관의 생태적 복원모형을 개발하였다. 북한에 관한 연구는 사용할 수 있는 공간자료의 한계가 많기 때문에 정량적 생태적 요인을 분석한 선행연구 사례를 찾기 어려운 점도 있다. 따라서 생태복원 모형에 관한 기초연구로서 본 연구는 생태지역 수준에서 생태적 요소를 분석하는 연구를 진행하였다.

제1절 한반도 생태지역 유형화

생태지역 유형화는 산림경관의 생태적 복원모형의 공간적 바탕이 되는 자료로 가장 중요한 역할을 한다. 연구를 진행하면서 다음 다섯 가지 세부 목표를 달성하도록 하였다. 첫째, 생태지역 유형화는 남한과 북한의 생태적 유사성과 차별성이 반영되도록 한반도 전체를 대상으로 구축되어야 한다. 남한과 북한의 생태적 유사성과 차별성을 공간적이고 정량적으로 측정할 수 있어야 한다. 둘째, 북한 산림경관의 생태복원에 유효한 다변량 변수가 선택되어져야 한다. 다변량 변수는 산림 황폐지의 생태복원에 필요한 주요인을 추출하기 위함이다. 셋째, 생태지역 차별성과 유사성이 통계적으로 검증되어야 한다. 지역화는 시각적 효과 뿐 아니라 공간변수가 지닌 속성의 차별성과 유사성이 내포되기 때문이다. 넷째, 산림경관 생태적 복원모형에 필요한 생태지역 경관정보를 탐색할 수 있어야 한다. 경관정보는 접근 불능지역인 북한의 생태지역별 복원목표를 선정하는 핵심 정보이기 때문이다. 다섯째, 생태지역 타당성을 설명할 수 있어야 한다. 생태지역별로 나타나는 자연식생이 경험적으로 알려진 학문적 결과와 상이하지 않도록 설명되어야 하고 한반도 공간위계에 관한 선행연구와 비교하여 본 생태지역도가 우위를 확보해야 한다.

1. 남한과 북한의 생태계

(1) 생태지역 주성분

생성시킨 22개의 변수를 모두 주성분에 진입시켜 22개의 데이터 공간 축을 형성시켰다. 22개 각 성분들의 상대적 기여도와 누적 설명력의 정도를 표로 나타내었다(Table 10). 4개의 성분이 Eigenvalue > 1을 나타냈고 22개의 공간변수가 작동하였다. 세 번째 성분에서 누적 설명력 약 79%, 네 번째 성분에서 약 90%의 설명력을 보였다. 17번째 성분에서 누적 설명력 100%를 나타냈다(Cumulative variation explained = 1.000). 첫 4개의 주성분을 해석하기 위해 Varimax 직교회전하고 네 개의 주 요인에 RGB 칼라를 할당하였다(Table 11). 첫 번째 요인은 온도와 관련된 물리적 환경이 진입하였다. 저온의 남북 차, 온도와 상관이 높은 고도와 지역에 따른 일사량의 차이가 함께 진입하였다. 두 번째 요인은 강수량 중에서 특히 건기 동안의 강수량과 연중 강수량 변동성이 높은 점수를 기록했다. 남한 지역은 건기 강수량의 많음과 북한지역은 건기 강수량의 적음이 크게 작용하였다. 세 번째 요인은 우기의 강수량과 토량수분 함유량 변동성이 높은 점수를 기록했다. 우기의 강수량은 남한에 크고 토양수분함유량 변동성은 토지피복의 지역적 차이를 반영한다. 네 번째 요인은 식물의 생산성에 관련된 변수이다. 생산성 최소량과 생산성의 계절 변동성이 네 번째 요인에 진입하였다.

(2) 남·북 생태계 차이

한반도 생태지역에서 요인 적재치를 나타나는 독특한 칼라군집은 남한과 북한의 생태적 요인과 지역적 요인의 차이를 의미한다. 첫 요인 빨강색은 낮은 여름온도와 겨울온도, 높은 지형, 일사량의 차이 등 물리적 지문학적 요소들이다. 두 번째 요인 녹색은 강수량의 계절 변동성, 건기

의 강수량, 낮은 토양수분 함유량이 남·북과 동·서 차이를 나타낸다. 세 번째 요인 파랑색은 여름철 강수량의 많음과 토양수분함유량 높음의 정도가 진입하였다(Table 11). 북한은 높은 고도와 낮은 온도의 지형적 극상이 전역을 빨갛게 지배하고 가뭄의 정도가 나머지 지역을 지배하는 생태계이다. 남한은 상대적으로 높은 강수량과 산림지대의 높은 토양수분함유량이 지배하는 생태계이다. 북한의 평야는 남한보다 건조하고 북한의 고원지대는 낮은 온도와 건조함이 지배한다. 남한의 산지는 높은 토양수분함유량과 강수량이 지배한다. 남한과 북한은 주성분에서 극명하게 차이 나는 생태계를 가지고 있다(Figure 15).

북한의 경계파일로 한반도 생태지역을 마스킹하면 남과 북이 공유하는 생태지역은 북한 국토면적의 약 12%이다. 남한과 생태적으로 다른 특성을 보이는 북한의 생태계는 북한 전체면적의 약 88%이다. 북한 국토면적의 약 12%는 남한과 생태적으로 유사하기 때문에 복원계획을 수립하는 경우에 남한의 경험이나 방법을 적용하여도 생태적으로 다르지 않다. 그러나 북한 국토면적의 약 88%는 남한에서 경험하지 못한 생태계이므로 북한의 환경계획이나 산림황폐지 복원계획을 세울 경우에 남한의 경험을 바탕으로 북한 전역에 적용하는 것에 대해 재고가 요구된다. 북한의 생태지역 12%는 남한에서 연구한 기존의 복원계획을 적용하는 것이 어느 정도 타당하다는 것을 의미한다. 그러나 나머지 88%는 남한의 생태적 경험과는 무관한 생태계이므로 과거 남한에서 경험한 산림복원 방법을 북한에 그대로 적용하는 것에 대한 효과가 의문시 된다. 이 지역에 대해서는 한대림, 건조한 산림, 낮은 온도에서의 수목의 발아와 성장, 토양상태 등 상세하고 정밀한 분석을 통해 지역적 특성에 맞는 복원계획을 해야 한다는 것을 의미한다.

Table 10. Variation explained by the 22 components

Component	Eigenvalue	Difference	Proportion variation explained	Cumulative variation explained
1	10.011169	4.30501641	0.417	0.417
2	5.706153	2.49423042	0.238	0.655
3	3.211922	0.41015986	0.134	0.789
4	2.801762	2.17372644	0.117	0.905
5	0.628036	0.06509621	0.026	0.932
6	0.562940	0.21014322	0.023	0.955
7	0.352797	0.07426699	0.015	0.970
8	0.278530	0.07139688	0.012	0.981
9	0.207133	0.11567335	0.009	0.990
10	0.091459	0.03267064	0.004	0.994
11	0.058789	0.03548642	0.002	0.996
12	0.023302	0.0076227	0.001	0.997
13	0.015680	0.00214317	0.001	0.998
14	0.013536	0.0022252	0.001	0.998
15	0.011311	0.0029129	0.000	0.999
16	0.008398	0.00260076	0.000	0.999
17	0.005798	0.00238357	0.000	1.000
18	0.003414	0.0003992	0.000	1.000
19	0.003015	0.00032421	0.000	1.000
20	0.002691	0.00089014	0.000	1.000
21	0.001800	0.0015312	0.000	1.000
22	0.000269	0.00017273	0.000	1.000

Table 11. Factor score on the first three components of PCA and color code.

	Phisiographic condition(red)	Dryness condition(green)	Wetness condition(blue)	Productivity (brown)	RGB
alt	-.982	-.043	.025	-.050	118,23,23
ss_mean	-.975	-.028	.020	-.041	148,21,21
bio10	.930	.151	.234	.112	181,16,16
bio5	.924	.115	.205	.120	217,9,9
bio1	.889	.383	.183	.128	255,0,0
bio11	.809	.545	.135	.135	238,73,73
bio6	.768	.601	.099	.136	233,106,106
sw_mean	-.719	.014	.017	-.011	231,138,138
bio15	-.030	-.923	.286	-.156	23,89,23
bio17	.213	.861	.370	.126	21,148,21
bio14	.170	.828	.403	.105	16,18,16
bio4	-.491	-.817	-.014	-.127	9,217,9
bio7	-.486	-.809	-.002	-.118	37,245,37
swc_cov	.564	-.682	-.302	-.152	110,245,37
swc_min	-.526	.658	.468	.140	150,233,106
bio16	.180	.046	.947	.046	9,9,217
bio13	.275	-.197	.894	.028	37,37,245
bio12	.224	.453	.821	.123	73,73,238
swc_max	-.038	.122	.780	.057	106,106,233
swc_mean	-.498	.405	.693	.077	138,138,231
fpar_min	.136	.102	.174	.974	245,172,37
fpar_cov	-.081	-.408	-.352	-.752	233,189,106
Eigenvalue	10.01	5.71	3.21	2.80	
Proportion variation explained	41.71	23.78	13.38	11.67	
Cummulative variation explained	41.71	65.49	78.87	90.55	

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

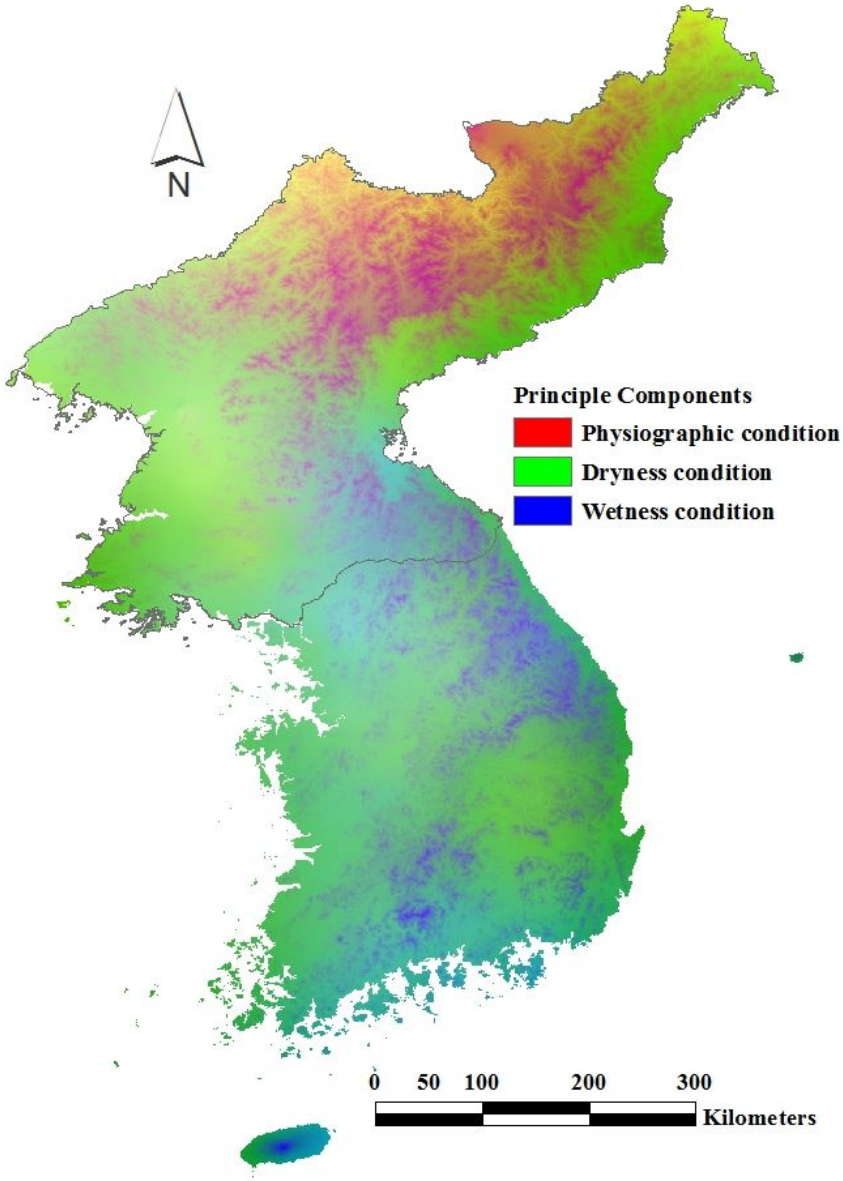


Figure 15. Different ecosystem between North and South Korea

2. 생태지역 차별성과 유사성

(1) 생태지역별 차별성

경험적으로 분류된 생태지역 군집 k = 15는 주성분에서 네 번째 까지 진입한 22개의 변수를 진입시켰다. 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-value = 0.000*). 경험적 k = 5, 6, 7, 8, 11, 15의 모든 군집에 대하여 적어도 하나의 생태요인 평균은 다른 생태요인 평균과 달랐다(*p-value =0.000*). Levene 통계량이 변량 간에 차이가 있다(*p-value <0.001*)는 것을 나타내므로 등 분산을 가정하지 않는 Dunnett T3 사후 검정의 각 변량 간 쌍별 비교를 하여 통계적 유사성을 추론하여 비교였다. 경험적 k = 5, 6, 7, 8, 11, 15의 모든 군집에 대한 통계적 유사성은 부록과 같다(AX3_Table 1; AX3_Figure 1).

(2) 생태지역 유사성

ANOVA는 생태지역 각 변수의 평균이 다른 지역 변수의 평균과 비교하여 평균 차이가 유의수준 95% 수준을 넘으면(*p-value > 0.05*) 각 생태지역 변수의 평균이 적어도 하나는 통계적으로 다르다는 것을 의미한다. 그러므로 군집평균 간 사후비교는 군집 평균 사이의 어떤 생태적 요인들이 차별성을 추론할 때에 통계적으로 유효하지 않게 작동하는지(*p-value>0.05*), 즉 어떤 생태적 요인들이 차별성을 나타내고 있지 않은지를 통계적으로 추론할 수 있게 해 준다.

경험적 k = 15에서는 D와 G의 연 평균온도, C와 E의 가장 더운 달의 최고온도가, C와 H의 최한월의 최저온도가 통계적으로 다르지 않았다. D와 E의 연 평균 강수량, H와 O의 강수량의 연간 변동성, A와 F의

우기의 강수량도 통계적으로 다르다고 추론할 수 없다. K와 O, D와 E, E와 H, I, G와 K, C와 N의 토양수분 최대 함유량, E와 N의 토양수분 최소 함유량, A와 N, C와 G는 토양수분 평균함유량이 다르다고 말할 수 없다. 식물의 생산성 관련해서는 C와 O, G와 N, H와 B가 최소치에서 다르다고 추론할 수 없었다. M과 D는 하지 전후 일사량이 다르다고 말할 수 없고, 동지 전후 일사량은 D와 M, F와 G, K, 그리고 J와 O에서 다르지 않았다. 이 외 다른 변수들의 생태지역 평균값은 적어도 통계적으로 유사하지 않았다(*p-value <0.05*). 생태지역 D와 E는 연평균 강수량과 토양수분함유량 최고치가 통계적으로 같아서 가장 높은 유사성을 보였다(Table 12). 경험적 k= 5, 6, 7, 8, 11의 생태지역 변수 중에서 k = 8의 토양수분함유량평균(swc_mean)이 A와 C가 통계적으로 유사하다는 것을 제외하고는 변수의 평균이 서로 다르다는 측면에서 변수의 집단 간 차별성은 가장 크고 따라서 집단 내 유사성도 가장 크다(AX3_Table 1).

Table 12. Variable homogeneity between ecoregions k =15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A															
B								fpar_min							
C															
D													ss		
E			bio5	bio12/ swc_mx											
F	bio 16	fpar_mn													
G				bio1		sw									
H			bio6		swc_mx										
I			fpar_min		swc_mx										
J															
K			swc_min			sw	swc_mx								
L															
M				sw											
N	swc_mean				swc_min										
O			fpar_min				fpar_min	bio 15		sw					

(3) 생태지역 지리적 분포

A 지역은 제주도와 남해 도서지방, 부산 남부와 포함을 거쳐 동해안으로 강릉까지 길게 동해안을 따라 나타난다. B는 서해안 영광에서 지리산 지역을 제외하고 동쪽으로 이동하여 대구광역시와 부산 사이로 A지역 내륙으로 북한의 강원도 고성까지 올라간다. C 지역은 장산반도에 큰 군집을 형성한다. 강원 북부에서 함경북도 청진시까지 해안을 따라 길게 한지역이 형성되었다. D는 지리산과 태백산 지역의 남한에만 국한되어 나타난다. E는 태백산맥을 중심으로 영서산간 지역에 속한다. F는 서해안 영광에서 태안반도까지 그리고 대구를 중심으로 한 분지를 형성하는 절구 공이를 뉘어놓은 것처럼 평야지대를 잇는다. 강원도 북쪽의 통천군과 안변군에 작은 지역이 지리적으로 격리되고 서해안의 황해남도 옹진군과 수의군에 지리적 격리현상이 나타난다. G는 황해남도 청단군에서 남포시 까지 남・북 띠를 이루는 지역과 함경남도 함주군과 함흥군을 잇는 작은 지역, 라진・선봉지역에 지리적 격리가 나타난다. H는 북쪽의 경계가 강원도와 황해북도 남부 지역으로 제한되고 동해안 함경남도 천내군과 금야군을 포함한다. I는 해안이 전혀 나타나지 않는 내륙으로 강원도, 함경남도, 양강도, 자강도, 평안북도, 평안남도, 황해북도를 일부씩 끼고 지역을 형성한다. J는 함경 남・북도의 해안을 제외한 내륙 산간 지역으로, 남북으로 길게 띠를 형성한다. 생태지역 K는 서안의 지역이 서쪽으로 더 내려와서 형성되고 함경북도 은덕군에 작은 지역이 지리적으로 격리되었다. L은 평안북도 신의주 북부에서 희천시를 거쳐 황해북도 인산시 까지 내륙에 남북으로 하나의 지역을 형성하고 있다. 함경북도 새별군과 온성군에는 작은 지역이 격리되어 나타난다. M 지역은 평안남도 덕천, 신양, 숙천에서 평안북도 대관군과 동창군을 경계로 자강도 희천시에서 위원군까지 지역 경계를 형성한다. 또 다른 지역은 함경북도 온성군에서 양강도 대홍단까지 두만강을 따라 격리되어 나타난다. N은 백두산, 백무고원, 개마고원, 평서 개석고원, 부전 장진고원을 잇는

고원지대로 대홍단군, 삼지연군, 연사군에서 함경남도 부전군과 장진군을 거쳐 평안남도 대흥군까지 고원지대를 형성한다. O는 양강도 혜산에서 자강도 위원군까지, 성림군과 랑림군을 경계로 삼각형 모양을 형성한다(Figure 16).

울릉도 해안은 생태지역 B에 속하지만 성인봉을 중심으로 한 지역은 D에 속한다. 백무고원, 개마고원, 영서지방, 영동지방, 영남지방, 기호지방, 호남지방 등 관습적으로 알고 있는 전통적 의미의 생태지역 개념을 적용하면 본 연구의 생태지역도는 이를 잘 설명하는 것처럼 보인다.

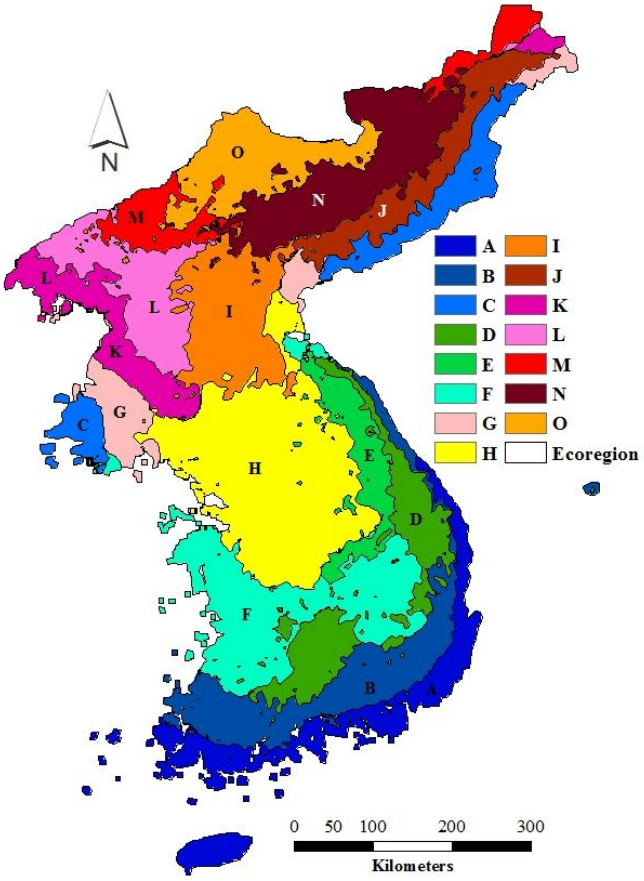


Figure 16. Geographical distribution of ecological region, k = 15

(4) 생태요인 비교

생태지역 주성분 첫 4 요인에 진입한 22개 변수의 평균을 한반도 평균과 비교하였다(AX3_Table 2). ANOVA test의 사후비교를 위해 작성한 요인의 3등급 분류표(Table 9; AX3_Table 1)를 참조하여 해석하였다.

한반도 고도 평균은 437m이고 A 지역의 고도는 144m로 3배 이상 낮다. 한반도 여름철 평균 온도는 21도이나 A 지역은 24도로 약 3도가 높다. 한반도 겨울철 평균온도는 약 -6도이지만 A지역은 약 3도로 9도 높다. 한반도 연 중 평균온도는 8도이고 A의 평균 온도는 14도이다. 온도의 계절변동성은 한반도 평균이 396이고 A지역은 313으로 약 21% 낮다. 한반도 평균 강수량은 1103mm이다. A지역의 연중 평균 강수량은 1379mm로 한반도 평균보다 약 21% 많다. 반면 우기 강수량은 653mm로 한반도 우기 강수량 634mm와 비슷하다. 연중 강수량이 고르기 때문에 강수량의 변동성은 한반도 평균보다 30% 낮다. 생태지역 B는 생태지역 A와 비슷한 요인을 가지지만 온도와 강수량에서 계절변화 폭이 더 좁고 평균 토양수분함유량은 한반도 평균보다 6% 높은 비옥한 지역이다.

C 지역은 여름철 평균 온도가 20도로 한반도 평균보다 1도 낮다. C의 연 평균 강수량은 한반도에서 가장 적은 783mm로 한반도 평균보다 30% 낮다. 토양수분함유량 평균은 81로 한반도 평균 90보다 10% 정도 낮아서 토양이 메마르고 건조한 지역이다. 평균 고도는 190m로 상대적으로 낮은 해안지역이다. 여름철 온도는 20도로 한반도 평균 21도 보다 낮고 일사량도 한반도 평균보다 3% 낮다. 그러나 혹한기 평균온도는 -11도로 한반도 평균 -13도 보다 27% 따뜻하다. 연 중 온도 변화가 상대적으로 적지만 여름철에 덜 덥고 겨울철에 따뜻하다. 그러나 연 중 내내 건조한 해안 생태계이다. 생태지역 D는 혹서기 온도가 27로 한반도 평균온도와 같다. 혹한기 평균온도는 -3도로 한반도 평균 -6도 보다 3도 정도 따뜻하다. 따라서 연 평균 온도는 9도로 한반도 평균 8도 보다 1도 높다. 여름엔 덥고 봄과 가을이 따뜻하고 겨울은 더 춥다. 연 중 강수량

은 1419mm로 한반도에서 가장 강수량이 가장 많은 지역이다. 우기에 765mm의 강수량이 내려서 한반도 평균 634mm 보다 18% 많다. 겨울철 강수량은 116mm로 한반도 평균 68mm 보다 2배 가까이 높다. 토양수분 함유량 최소값은 88로 한반도 전체 평균 76보다 높고 토양수분 함유량 변동성은 4로 한반도에서 가장 낮다. 따라서 전체적으로 습윤하고 산림 피복이 울창한 지역임을 유추할 수 있다. 지리산과 태백산맥이 속한다.

생태지역 E의 고도는 596m로 남한에서 D를 이어 두 번째로 높다. 토양수분함유량 최소치가 86으로 한반도 평균 76보다 12% 높다. 혹서기 온도는 26으로 한반도 평균 27보다 낮다. 혹한기 온도는 -6으로 한반도 평균이다. 연 평균온도는 8도로 한반도 평균과 같다. 여름 일사량은 한반도 평균보다 높다. 연평균 강수량은 1414mm로 생태지역 D와 유사하고 한반도에서 두 번째로 많은 지역이다. 여름철 강수량은 818mm로 한반도에서 가장 많고 겨울철 강수량은 96mm이다. 여름엔 강수량 많고 서늘하며 겨울엔 강수량이 적다. 산림이 울창하고 토양이 습윤하게 유지되는 생태계를 유추할 수 있다. 생태지역 F는 토양수분 함유량의 평균, 최소, 변동성이 한반도 평균과 각각 동일하다. 혹서기 온도는 29도로 한반도에서 가장 덥고 겨울철 온도는 -7도로 한반도 평균 -13도 보다 6도 높다. 연평균 강수량은 1218mm로 한반도 평균 1103mm보다 9% 많다. 여름철 강수량은 663mm으로 한반도 평균보다 많고, 겨울철 강수량은 94mm로 한반도 평균 68보다 높다. 평균 고도가 160m이다. 전체적으로 저지대이며 여름에 무덥고 습해서 경작에 알맞은 평야지역 생태계로 유추할 수 있다. 생태지역 G는 평균 고도가 117m로 한반도에서 가장 낮은 지역이다. 혹서기 온도가 28로 중부지방 이북에 위치하나 한반도에서 두 번째로 높다. 겨울철 온도는 -4도로 한반도에서 남한의 D보다는 춥지만 북한에서는 가장 따뜻하다. 강수량은 한반도 평균과 비교하여 적지만 토양수분함유량 최대치는 한반도 평균과 같다. 계절변동성은 10으로 한반도 평균보다 크다. 저지대이며 여름에 무덥고 토지피복이 유지되지만 생산이 끝나면 나지가 드러나는 농업생태계를 유추할 수 있다.

생태지역 H는 평균고도 199m이다. 혹서기 온도는 23도, 혹한기 온도는 -4도, 연평균 기온은 10도이다. 여름엔 무덥고 겨울엔 상대적으로 따뜻하지만 한반도 평균보다 2도 낮다. 우기의 강수량은 815mm로 한반도에서 두 번째로 많다. 연평균 강수량은 1334mm다. 여름에 집중호우가 내리고 겨울에도 상대적으로 강수량이 풍부하지만 봄가을에 건조한 생태계이다. 겨울철엔 토양수분함유량이 낮고 계절 변동성이 큰 지역이다. 생태지역 I는 평균고도 624m의 중산간이다. 혹서기 온도가 20도이고 겨울철 온도는 -9도이다. 토양수분함유량은 최대치는 한반도 평균보다 높으나 최소치는 77로 한반도 평균과 유사하다. 우기의 강수량은 791mm로 북한에서 강수량이 가장 많은 지역이다. 겨울철 강수량은 62mm로 한반도 평균 보다 적고 연 평균 강수량은 1244mm이다. 여름철 생장기의 강수량이 풍부하고 산림 피복이 울창하다. 겨울철엔 토양수분함유량이 낮고 계절 변동성이 큰 지역이다. 낙엽활엽수림 우점이고 농경지가 많은 생태계로 추정한다. 생태지역 J는 생태지역 C와 생태지역 N의 사이에 위치한다. 평균 고도가 830mm로 산악지역이다. 연평균 온도는 4도이고, 여름철 온도는 20도, 겨울철 온도는 -9도이다. 혹서기 온도와 겨울철 온도는 I와 유사하다. 토양수분함유량의 최대치, 최소치, 평균은 각각 한반도 평균보다 낮다. 즉, 산악지역이지만 토양수분 함유량 최대치와 최소치가 모두 낮아서 울창한 산림은 아닌 것으로 유추 할 수 있다.

생태지역 K는 평균 고도 128m로 서해안에 인접한 저지대이다. 연평균 온도는 9도로 북쪽에 위치하지만 한반도 평균보다 높다. 그러나 겨울철 온도는 -6도로 한반도 평균과 같다. 우기의 강수량이 623mm로 한반도 평균보다 11mm 낮다. 건기의 강수량은 45mm로 한반도 평균보다 23mm 낮다. 연 평균 강수량은 1072로 한반도 평균 1103mm보다 높다. 토양수분 함유량 최대치는 한반도 평균과 동일하나 식물의 생산성 최소치가 한반도 평균의 59%에 불과하다. 저지 평야지대로 여름엔 온도가 높고 강수량이 풍부하여 토지피복이 왕성하지만 겨울엔 식생의 생산성이 유지되지 않는 일모작 벼농사 생태계로 추정한다. 생태지역 L은 평균고

도가 228m로 산지보다는 평야지대에 속한다. 혹서기 온도가 22도로 한반도 평균보다 1도 높고 혹한기 평균온도는 8도로 한반도 평균보다 2도 높다. 그러나 연평균 온도는 8도로 한반도 평균과 같다. 우기의 강수량이 685mm로 북한에서 두 번째로 많고 한반도 평균보다 높다. 토양수분함유량 최대치는 한반도 평균보다 높고 계절변동성도 한반도 평균보다 48% 크다. 즉 여름 한철 덥고 강수량이 많아서 토지피복이 왕성하다. 겨울엔 상대적으로 더 따뜻하지만 연평균은 한반도 평균과 같아서 봄과 가을 온도가 상대적으로 낮다는 것을 유추할 수 있다. 여름 한철 생산성이 유지되는 생태계로 농경지가 많고 활엽수림이 많은 생태계로 추정한다.

생태지역 M은 평균 고도 591m로 산간지역이다. 우기의 강수량은 616mm로 한반도 평균보다 낮다. 겨울철 강수량은 40mm로 한반도에서 두 번째로 낮다. 연 평균 강수량은 992mm이다. 혹한기 온도는 -12도로 한반도 평균보다 2배 낮고 여름철 온도는 19도로 한반도 평균보다 2도 낮다. 토양수분함유량 최대치는 96으로 한반도 평균보다 낮다. 여름철 일사량은 한반도 평균보다 약간 높다. 여름엔 상대적으로 시원하지만 겨울엔 상대적으로 더 춥고 적은 강수량이 지배하는 산간지역이다. 생태지역 N지역의 평균 고도는 1453m로 한반도에서 가장 높다. 연평균 온도가 0도에 가깝다. 혹서기 온도는 14도이고 혹한기 온도는 -16도이다. 한반도 평균 6도보다 10도 낮아서 극한 저온의 생태계이다. 낮은 기온과 높은 지형조건 그리고 여름철 일사량이 지배하는 지역이다. 마지막으로 생태지역 O는 평균 고도 975m로 한반도에서 두 번째로 높다. 연평균 온도가 2도, 혹서기 온도는 18도, 혹한기 온도는 -15도이다. 평균 강수량은 909mm이고 우기의 강수량은 559mm이다.

3. 생태지역 타당성

(1) 생태지역별 자연식생

생태지역도와 현존식생도(환경부 제작)를 중첩하여(AX2_Figure 4) 남한의 각 생태지역 군집에 출현하는 전형적 유형의 자연식생을 파악하였다. 남한의 결과를 바타으로 북한의 생태지역 분류에 대한 타당성을 추정하였다(Table 13). 이차림의 현존식생은 생태지역 경계를 결정하는 요인은 될 수 없지만 생태지역 경계는 산림기후의 영향을 포착할 수 있어야 한다(Loveland and Merchant, 2004; Bailey, 2005). 따라서 산림의 자연식생의 교목인 상록활엽수림, 아고산 침엽수림과 아고산 활엽수림의 공간적 분포는 생태지역 지표에서 일어나는 표현형으로 생태지역 타당성을 확인하는 한 가지 방법이 된다. 생태지역 A는 제주도 및 남해안과 도서지역이 포함되고 대부분의 상록활엽수림이 출현하는 지역이다. 도엽명 소안, 한라산, 홍도 등에서 중부지방에서는 확인이 되지 않는 산림식생인 구실잣밤나무가 출현하고 구실잣밤나무_가시나무군락, 구실잣밤나무_소나무군락, 그리고 가시나무 군락이 출현하였다. 소안과 완도에서는 가시나무군락이 출현하였고, 완도에서는 붉가시나무군락이 출현하였다. 장사, 소안, 소리, 예내에서는 후박나무군락이 나타났다. 아고산 침엽수림은 한라산의 잣나무군락, 눈향나무군락, 구상나무군락, 그리고 구상나무_사스래나무군락이 있다. 아고산 활엽수림은 한라산의 사스래나무군락이 있다. 생태지역 B의 상록활엽수림은 도엽명 금덕의 전라남도 영광군과 함평군의 참식나무군락과 도엽명 대도의 여수시 동백나무군락이 포함된다. 아고산 침엽수림은 잣나무군락이 나타난다. 생태지역 B의 동백나무군락은 A지역 경계와 인접한다. D지역에서는 상록활엽수림이 나타나지 않고 아고산 침엽수림으로 태백산맥권에서 잣나무군락, 죽령권에서 주목군락이 나타나고 지리산권에서 구상나무군락, 구상나무_주목군락, 구상나무_신갈나무군락, 구상나무_사스래군락, 구상나무_잣나무군락이 출현하였다. E지역의 대표적인 아고산 침엽수림은 잣나무군락이고 도엽명 갈천의 전나무_신갈나무군락, 도엽명 방동의 분비나무_신갈나무군락의 출현이 특징이다. F지역의 아고산 침엽수림은 잣나무군락과 전나무 군락이 출현하였다. 아고산활엽수림은 남한에서 사스래나무군락이 공통으로 등

장하지만 생태지역 F와 H는 아고산활엽수림이 출현하지 않았다.

Table 13. Landscape characterization of ecosystem region described by first and second most frequently occurring actual vegetation type.

Ecoregion	Vegetation type	Actual vegetation	Map sheet(1/25,000)
A	Evergreen broadleaf	*Castanopsis cuspidata*	Soan, Hallasan, Hongdo
		C. sieboldii _Q. myrsinaefolia	Soan
		C. sieboldii _P. densiflora	Hongdo
		C. sieboldii_Q. acuta	Jangsa
		Quercus myrsinaefolia	Wando, Soan
		Camellia japonica	Wando
		Quercus acuta	Wando
		Machilus thunbergii Siebold	Jangsa, Soan, Sori, etc.
	Subalpine conifers	*Pinus koraiensis*	Hallasan
		J. chinensis var. sargentii	Hallasan
		Abies koreana	Hallasan
		A. koreana_B. ermanii	Hallasan
	Subalpine broadleaf	*Betula ermanii*	Hallasan
B	Evergreen broadleaf	*Neolitsea sericea*	Guenduk
		Camellia japonica	Daedo
	Subalpine conifers	*Pinus koraiensis*	Tanggok, Ssangjeon, Yongsan
D	Subalpine conifers	*Pinus koraiensis*	Sokcho, Poonggok, etc.
		Taxus cuspidata	Jukryung
		Abies koreana	Janggi, Daesung, etc.
		A. koreana_T. cuspidata	Gusang, Janggi
		A. koreana_Q. mongolica	Daesung, Deukdong
		A. koreana_B. ermanii	Daesung
		A. koreana_P. koraiensis	Deukdong
	Subalpine broadleaf	*Betula ermanii*	Daesung
E	Subalpine conifers	*Pinus koraiensis*	Sinsun, Biro, etc.
		A. holophylla_Q. mongolica	Ganchun
		A. nephrolepis_Q. mongolica	Bangdong
	Subalpine broadleaf	*Betula ermanii*	Hyulli, Bangdong
		B. ermanii_A. holophylla	Birro
F	Subalpine conifers	*Pinus koraiensis*	Ducksan, Okchun, etc.
		P. koraiensis_P. rigida	Okchun
		Abies holophylla	Guemsan

(2) 선행연구와의 비교

생물지리구(공우석, 1989)와 기후대(김용만, 1990) 연구 결과를 주요인, 지형, 지표의 표현형에서 본 연구 결과와 비교하였다. 전자는 204종의 상록성 식물을 유사도 기준으로 군집분류 하였다. 결과 Ⅰ 지역은 화솔나무, 곱향나무, 노간주나무의 3종을 제외하면 실질적으로는 상록관목지대를 나타낸다. Ⅱ 지역은 화솔나무, 분비나무, 가문비나무, 잣나무, 찝방나무, 주목 등 상록교목과 상록성 관목이 함께 진입한 지역이다. Ⅲ 지역은 상록성 교목지대이다. 울릉도는 제주도와 같은 생물지리구에 속하는 것으로 해석되었다. 지역구분은 종이지도에 임의로 경계를 형성하였다. 그러나 식물의 입력변수에 태생적으로 문제가 있는 것이 발견되어 생물지리구로서의 타당성에는 의문이 남는다(Figure 17, left).

기후대 연구(김용만, 1990)는 계절성을 반영한 기온과 강수량 변수를 전국 2300개의 그리드 지도에 입사하여 요인과 계층적 군집분석으로 경계를 형성시켰다. 첫 요인은 동계 기온과 남・북의 기온 차, 두 번째 요인은 여름철 강수량의 동・서 및 국지적 현상, 세 번째 요인은 동계강수량만 진입하였다. 그래서 경계는 기후의 남・북 차, 내륙과 해양, 지형적 동서차를 반영하는 것으로 해석하였다. 울릉도는 경상남북도의 산악 및 해안지역과 같은 기후적 특징이 나타나는 것으로 종이지도 위에 입사되었지만 경계의 형성이 비교적 객관적이고 타당하였다(Figure 17, middle).

본 연구의 생태지역도는 첫 요인에 고도의 기울기와 기온 중에서 저온의 남북 차, 두 번째 요인은 강수량과 토양수분 변동성이 강수량과 토양수분의 남북 차와 지역차를 반영하였다. 세 번째 요인은 평균과 여름 강수량의 많음이 남북차를 반영하였다. 그래서 남・북한의 생태계 차이가 반영되고 지형의 기울기와 함께 토지이용 토지피복이 반영되었다. 그래서 기후대 지도 보다 생태적 복원계획에 사용하기 더 적합한 것으로 판단하였다(Figure 17, right). 생태지역도에 유역도를 중첩한 결과 생태지역 경계는 유역경계보다 타당성이 컸다(Bailey, 2005). 생태지역 J와 N

의 경계는 경험적 k = 5, 6, 7, 8, 11, 15를 각각 입력하여도 경계분리 현상이 나타나지 않았다. J와 N의 경계는 한반도에서 행정구역, 유역경계, 생태지역, 그리고 토지피복 경계가 일치하는 유일한 지역이다. 생태지역의 분리가 유역의 분수령에 의한 것이 아니고 지형의 기울기가 반영되는 것임을 설명하는 증거이다(Figure 18). 울릉도 해안은 B와 일치하고 성인봉을 위시한 고도가 높은 지역은 생태지역 D의 특징을 보였다.

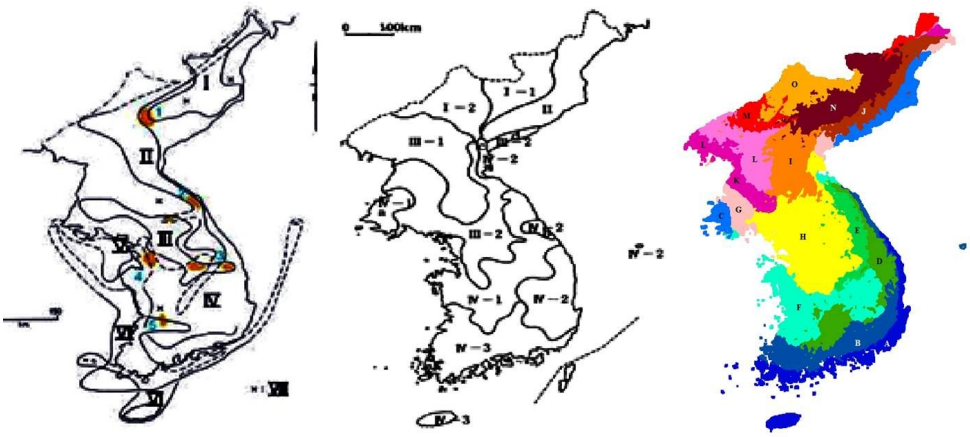


Figure 17. Naked eye comparison of region's boundary between biogeographic zone, climate zone

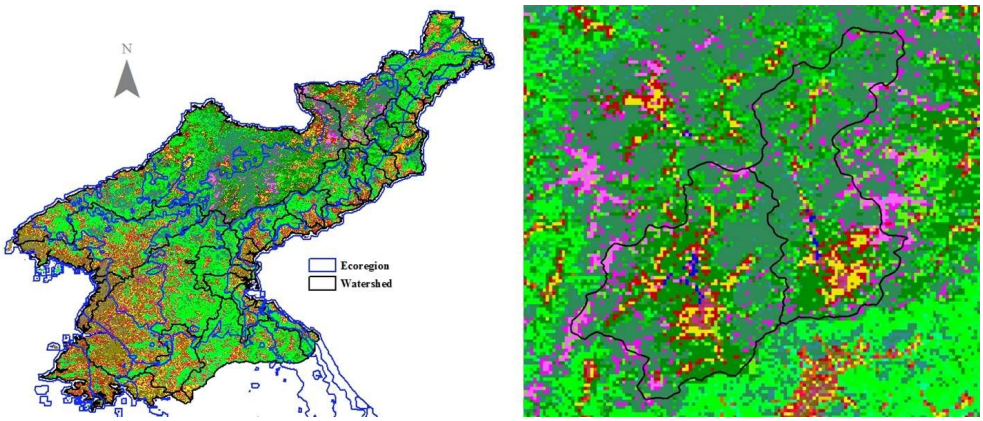


Figure 18. The boundary matching plateau, ecoregion, watershed, administration, and vegetation type

(3) 생태지역 명명

생태지역은 분류 목적에 따라 형성된 개개의 지역이 모여서 하나의 커다란 생태계를 이루는 시스템이다. 그러므로 시스템의 관점에서 생태지역을 목적에 따라 명명해야 한다.[48] 명명은 생태지역 분류에 진입한 변수가 지상에서 표현하는 특징과 관련이 있다. 일반 생태지역은 관습적으로 불려오는 지역 명을 벗어나지 않는 명명이 타당하다. 그러나 목적적 생태지역은 일반인들이 인식하는 명칭과 다소 생소하고 어색해지는 단점이 있다. 그래서 미국과 캐나다는 생태지역 워킹 그룹을 구성하였다(ecoregion working group, 1989). 캐나다의 생태지역은 산림기후대-지형-지역의 위계를 갖도록 명명하였다.[49] 미국의 생태지역은 Level Ⅰ, Level Ⅱ, Level Ⅲ, Level Ⅳ가 위계를 이루도록 지역-지형을 조화시켜 명명하였다.[50] 본 연구의 생태지역 명명은 지역, 자연식생(Wright et al., 1998; Lovelands and Merchant, 2004; Bailey, 2005), 지형(Omernik and Bailey, 1997)의 관계가 표현되도록 하였다. 지역과 지형으로 표현되면 우선 명명하였다. 지역-지형이 명확하지 않다면 식생(미기후)을 반영하였다.[51] A는 남해안 상록활엽수림 생태지역이다. B는 난・온대(warm temperature forest) 혼효림 생태지역이다. 한반도에서 강수량이 가장 적은 C는 북부해안 건조 생태지역으로 명명하였다. 북부에 위치한 해안 건조 생태지역은 남부 기온의 특징이 나타나고 황해지역과 북동 해안지역으로 격리되었다. D는 남부 산악 습윤 생태지역이다. 지리산과 태백산 지역으로 격리되어 있다. E는 영서 산간 생태지역이다. F는 남부 평야 생태지역으로 명명하였다. 남부 평야 생태지역은 논농사 위주의 생태계다. 아고산 침엽수인 잣나무와 전나무가 출현하지만 대부분 조림수종이다. G는 북부 저지 생태지역이다. 충적토 지역으로 재령평야와 황금평으로 격리되어

48) 생태지역 명명의 체계에 관해서 국립수목원 신준환 박사님의 조언이 있었음
49) http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/ecostrat/hierarchy.html
50) http://www.epa.gov/wed/pages/ecoregions/na_eco.htm
51) 명명의 원칙은 국립생태원 서창완 박사님과 국립산림과학원 배재수 박사님의 조언이 있었음

나타난다. H는 한강유역 생태지역이다. I는 중·동부 내륙 낙엽활엽수림 생태지역이다. J는 함경 중·산간 생태지역이다. K는 평안 평야 생태지역이다. L은 평안 내륙 생태지역이다. M은 북부 중·산간 생태지역으로 명명하였다. 북부 중·산간 생태지역은 압록강 지역과 두만강 지역으로 지리적 격리가 나타난다. 생태지역 N은 백두-개마고원으로 명명하였다. 생태지역 O는 낭림 산악 생태지역이다(Table 14). 남한의 식생은 아고산대 산림 식생을 제외하고 대부분 침엽수 조림지역과 이차림이다. 반면 북한은 원시림과 황폐지가 많은 생태계이다. 남한은 최근 활엽수림 면적이 확대되어 혼효림 특성을 보인다. 북한은 산림 보호법을 강화하여 산림보호에 힘쓰고 있으며 조림 면적이 차츰 증가하고 있다. 복원을 위한 생태지역은 위와 같은 현상을 반영하거나 FAO의 산림 정의를 반영하여 명명하는 것이 효율적으로 판단된다.[52)]

Table 14. Ecoregion naming

Ecoregion	Ecoregion naming(sun-region)
A	The Sourthern Costal Evergreen Broadleaf Ecoregion
B	The Warm Temperature Mixed Forest Ecoregion
C	The Northern Coastal Dry Ecosystem(Hwanghae region_North-East region)
D	The Sourthern Mountain Wet Ecoregion(Jirisan region_Taeback region)
E	Ryongseo Highland Ecoregion
F	The Sourthern Plain Ecoregion
G	The Northern Lowland Ecoregion(Jaeryong plains-Whanggum pyung plain)
H	Central Hangang Watershed Ecoregion
I	Middle East Interior Deciduous Broadleaf Ecoregion
J	Hamkyong Mountain Terrain Ecoregion
K	Pyongan Plain Ecoregion
L	Pyongan Interior Ecoregion
M	The North West Mountain Terrain Ecoregion(Aprokgang(Yalu)_Duman(Tumen))
N	Backdu-Gaema Plateau Ecoregion
O	Nangrim Mountain Ecoregion

52) Global Forest Resource Assessment(FRA; FAO, 2010)에서 산림이란 자연 상태에서 차대가 형성되는 원시림(primary designated function), 원시림 혹은 도입종이 벌채된 후 자연 재생된 이차림(other naturally regenerated forest), 자생종이나 도입종으로 인공 식재된 조림(planted forest)의 3가지 형태를 의미한다. Source: http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/

4. 소결

생태적 복원모형 개발을 위한 생태지역 유형화는 북한 잠재복원대상지의 생태적 요인을 추출하는 것을 목적으로 구축되었다. 따라서 주성분 4번째까지 진입한 모든 변수를 축소하지 않고 군집분석에 진입시켰다. 변수의 공간적 유사성보다는 차별성을 도출하기 위함이었다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 주성분 첫 요인은 고도 차, 극한 저온, 일사량이 지배하는 생태계로 남·북차를 반영한다. 두 번째 요인은 강수량의 계절변동성과 건조함의 정도가 반영되어 남과 북이 차이가 나고 지역적 차이를 반영하였다. 세 번째 요인은 우기 강수량과 연평균 강수량이 풍부하고 토양수분함유량이 높은 것을 반영하여 남·북 차이와 지역적 차이를 반영하였다. 남한의 생태계는 상대적으로 높은 강수량과 토양수분이 양호한 습윤한 생태계이고 북한의 생태계는 저온과 높은 고도, 그리고 건조함의 정도가 지배하는 생태계로 극명하게 대조되었다.

둘째, 남과 북이 공유하는 생태지역은 북한 면적의 약 12%이다. 북한 전체면적의 약 88%가 남한과 생태적으로 다른 요인을 가지고 있다. 산림경관의 생태적 복원이나 환경계획을 시도할 경우 남한에서의 경험에 의존하여 북한에 적용하는 것이 가능하지 않다는 것을 의미한다. 88%의 차이는 북한 산림경관의 생태적 복원은 남한의 복원경험을 북한에 적용하는 것보다는 지금까지와 다른 방법론적 대안을 모색해야 한다는 것을 의미한다.

셋째, 생태지역 군집의 차별성은 진입한 변수의 ANOVA test에서 통계적으로 확보하였고(*p-value 0.000<0.01*) 생태지역 군집간의 통계적 유사성은 등분산을 가정하지 않는 Dunnet T3 post hoc pair wise test에서 생태지역 D와 E가 토양수분함유량 최대치와 연강수량에서 통계적으로 유사함을 보였지만 온도, 일사량과 생산성 등의 변수가 통계적으로 달라

서 15개의 군집이 타당하다고 판단하였다.

넷째, 사계절이 나타나는 온대지방에서 연중 평균값은 생태지역에 유용하게 작용하지만 지역분류는 극한 값이 영향을 끼친다. 이는 선행연구에서 지적한 결과와 일치하였다(Hargrove and Hoffman, 2005; Bailey, 2005). 온도와 강수량의 연중 평균값 보다는 저온의 극한 값, 건조함의 정도, 계절 변동성이 남과 북의 생태계 차이를 반영하였다. 남한은 우기에 강수량이 많고 건기에도 상대적으로 강수량이 많은 생태계로 연중 변화가 적은 평온한 생태계이다. 그러나 북한은 연중 강수량과 건기의 강수량이 상대적으로 더 적어서 건조함의 정도가 지배하는 생태계이다. N과 O의 높은 토양수분 함유량은 한대림의 울창한 사림이 반영된 결과이다. 침엽수림 생태계는 낮은 온도로 인한 공중 수분이 유지되는 건조한 생태계를 지배한다(Bailey, 2005).

다섯째, 토양수분함유량은 생산성을 타나내는 변수와 함께 토지피복 특징을 반영한다. fPAR은 남・북한의 생산성 차이에는 반영되었지만 각 생태지역을 군집화 하는데에는 유용하게 작동하지 않았다. 그러나 토양수분함유량은 각 생태지역에 모두 작동하였고 특히 토양수분 최저치와 토양수분 변동성은 그 지역의 토지이용과 토지피복을 특징 짓은 데 작동하였다. 토양수분함유량 변동성이 큰 생태지역 C, G, K, L은 농업생태계이거나 무립목지가 우점인 생태지역이다. 그 중에서 토양수분 최고치는 높으나 최저치가 낮고 토양수분 변동성이 큰 G와 K지역은 토지이용 중 논이 많은 생태계이다. 토양수분 최저치가 중간정도이고 토양수분 변동성이 큰 생태지역 L은 개간산지와 무립목지가 많은 생태계이다.

여섯째, 생태지역 분류에서 유사성을 기반으로 지역적으로 격리되어 나타나는 것은 자연스러운 현상이다(Loveland and Merchant, 2004; Bailey, 2005; Fitterer et al., 2012). 그러나 계획적 관리지역에서는 지리적 격리에 대해 다른 군집으로 분리하거나 유사한 성향의 인접 군집과 통합할 필요성이 있다. 북한의 경우에는 북한에만 나타나는 9개의 생태

지역, 경기도 북부지방(H), 동해안에 남한과 연결된 생태지역(B, D, E, F)을 하나로 묶어서 총 11개의 생태지역으로 구분하여 복원계획을 수립하고 관리하는 것이 바람직하다.

일곱째, 남한의 생태지역별 자연식생 군집의 출현이 생태지역마다 달라서(Bailey, 2005; Fitterer et al., 2012) 한반도 생태지역 타당성을 추정하였다. 생태지역 A는 상록활엽수림으로 자연식생이 대표되고 생태지역 D는 아고산 침엽수림으로 자연식생을 대표하는 생태계이다. 생태지역 A와 B이외에는 상록활엽수림이 나타나지 않았고 생태지역 F와 H는 아고산 활엽수림이 나타나지 않았다. 남한의 대표적인 아고산 활엽수림은 사스래나무 군락이다. 남한의 자연식생을 바탕으로 생태지역 타당성 확보하여 북한의 생태지역 타당성을 추정하였다.

여덟째, 한반도 공간위계를 연구한 선행연구와 본 연구의 생태지역 유형을 진입변수, 분석방법, 나타나는 표현형을 중심으로 비교하였다. 각종 연구에서 빈번하게 인용했던 생물지리구분(공우석, 1989)은 진입한 변수의 타당성 결여로 인해 생물지리구로서의 연구 가치가 없었다. 기후대(김용만, 1990)는 비록 종이지도 이지만 섬세하게 구획된 격자 위에 온도와 강수량을 입사하여 결과적으로 기후의 남・북 차와 고도의 지역차가 반영된 기후도가 제작되었다. 본 연구의 생태지역도는 온도와 강수량의 계절성이 남・북 차를 반영하고 토양수분함유량이 지역차를 반영하여 결과적으로 토지피복 상태가 반영된 생태지도가 제작되었다. 따라서 본 연구의 생태지역도는 산림경관 복원을 위한 생태적 요인을 분석하거나 경관정보를 획득하는 데 선행연구보다 더 유리하였다.

제2절 북한 산림복원 평가요소

1. 잠재복원대상지 추정

(1) 시계열 산림변화량

AVHRR NDVI 영상으로 분석한 연구 기준연도인 1989년 북한의 산림 면적은 91,679㎢이었다. 북한 면적 약 122,312㎢의 약 74%가 산림이었다. 1989년 영상 분류에서 NDVI 값이 울창한 산림보다 평균 10% 정도 낮은 군집이 산림으로 분류되었다. 봄철과 가을철의 NDVI가 농경지로 판단할 수 없는 지역이었다. 2008년 MODIS NDVI 영상을 분류한 산림면적은 비교적 양호한 산림 약 73,154㎢로 추정되었다(Figure 19, right). 알파인 항목을 분류하여 산림으로 범주화 하였다. 북쪽 지방에서 늦게 새순이 나고 9월 중순이후 낙엽이 지는 낙엽침엽수림 항목을 범주화하였다. 생물계절 상을 각 항목을 범주화하는 데 적용하여 선행연구들이 NDVI 평균값을 토지피복 분류하면서 작물과 산림의 생물계절 평균값이 남한보다 짧은 특성을 추론하지 못하여 밭으로 과 추정하던 경향을 제거하였다.

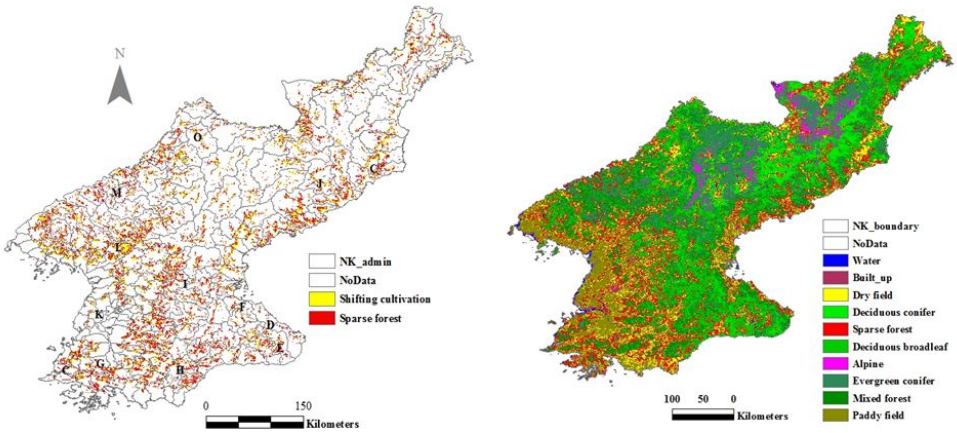


Figure 19. Shifting cultivation and deforested(left), and LULC map in 2008(right)(Yu et al., 2011)

(2) 잠재복원대상지 선정

1989년에서 2008년 산림 변화량은 산림이었다가 도시화(0.471%) 되거나 수역(0.74%)으로 변화된 곳, 그리고 공간해상도 일치화를 위해 리샘플링 되는 과정에서 화소가 누락되어 변화탐지에서 제외된 지역(0.12%)을 제외하면 1989년에 비해 2008년에 약 22%의 산림이 농경지 혹은 무립목지로 변화 되었다(Table 15). 이 지역은 잠재복원대상지로서 산림경관복원의 직접대상지가 된다. 산림이었다가 밭으로 전용된 지역은 약 4.62%, 논으로 전용된 지역은 약 2.13%, 무립목지가 된 산림은 약 14.86%이다. 농경지로의 전환이 무립목지로 전환된 비율보다 낮은 것은 전환된 농경지의 규모가 상대적으로 작고, 1990년대 이후 북한의 산림황폐지는 산림의 새로운 개발과 전용 때문에 발생 했다기보다는 방치한 한계농지가 황폐화되거나 원래 양호하지 못했던 산림이 충해의 피해, 연료 채취, 경제적 악화로 인해 방치되어 발생되었을 것으로 추정된다(Figure 19, left).

Table 15. Forest area in 1989 into unchanged forest and changed nonforest in 2008.

NK_89	LULC	Pixels	Area(㎢)	
	Forested	139,801	91,679	
NK_08	▼	▼	▼	
Forested	Deciduous forest	14677	10.50	77.68
	Deciduous broadleaf	37416	26.76	
	Evergreen conifer	24749	17.70	
	Mixed forest	28412	20.32	
Nonforested	Sparse forest	20780	14.86	21.62
	Dry field	6463	4.62	
	Paddy field	2979	2.13	
	Built_up	659	0.47	0.70
	Waterbody	103	0.07	
	Unclassified	220	0.16	
	Total	139,801	100.00(%)	100(%)

(3) 생태지역 잠재복원대상지

생태지역 A는 남한에만 나타나는 지역이다. 북한의 생태지역은 남한과 함께 공유하거나 북한에만 나타나는 생태지역을 형성하고 있다. 남·북이 공유하는 생태지역은 B, D, E, F, H이고 북한 국토면적의 약 12%이다. 이 지역의 잠재복원대상지는 전체 면적의 약 14%이다. 생태지역 C, G, I, J, K, L, M, N, O는 북한에서만 나타나고 북한 국토면적의 약 88%를 차지한다. 북한 잠재복원대상지 면적의 약 86%는 이들 북한에만 나타나는 생태지역에 분포한다(Table 16).

생태지역 C는 북한 면적의 8%를 점유한다. 이중 약 25%가 잠재복원대상지이다. 잠재복원대상지의 33%는 현재 경작지로 사용 중이고 무립목지는 67%이다. 생태지역 G는 북한 국토면적의 6%를 차지한다. 이 중 약 18%가 황폐화되었다. 황폐지 중 약 34%는 경작지로 전용되어 있고 무립목지는 약 66%이다. 생태지역 I는 북한 국토면적의 약 14%를 차지하고 이중 약 16%가 잠재복원대상지이다. 잠재복원대상지의 22%는 경작지로 전용된 지역이고 약 78%는 무립목지이다. 생태지역 J는 북한 국토면적의 약 9%를 점유한다. J는 전체의 10%가 넘는 잠재복원대상지를 가지고 있다. 이중 약 25%는 경작지로 전용되어 있고 75%는 무립목지이다. 북한 국토의 약 8%를 차지하는 생태지역 K는 전체 면적의 약 20%가 잠재복원대상지이다. 이 중 38%가 경작지로 사용되고 있고 62%는 무립목지이다. 생태지역 L은 북한 면적의 약 10%를 차지한다. 이중 약 26%가 잠재복원대상지이다. 잠재복원대상지 중 약 36%는 경작지로 전용되었고 64%는 무립목지로 남아있다. 생태지역 M은 북한 전체 면적의 약 9%이다. 이중 17%가 잠재복원대상지이다. 잠재복원대상지의 약 30%는 경작지로 전용되어 사용되고 있고 약 70%는 무립목지로 남아있다. 생태지역 N은 북한 국토 면적의 약 16%로 면적이 가장 넓다. 그러나 잠재복원대상지 면적은 약 7%로 가장 적다. 이 중 약 34%는 밭으로 전용되어 사용되고 있으며 66%는 무립목지이다. 생태지역 O는 북한 국토 면적의

약 10%를 차지한다. 이중 14%가 잠재복원대상지이다. 잠재복원대상지의 약 36%는 경작지로 사용되고 있고 약 64%는 무립목지이다(Figure 20).

Table 16. Ecoregion area(%), degraded forest into shifting cultivation and sparse forest in NK

Ecoregion	Area	Degraded forest
B	0.15	15.24
C	7.65	25.08
D	0.61	9.46
E	1.86	13.26
F	0.52	10.39
G	5.73	17.63
H	9.38	20.66
I	14.03	15.57
J	8.93	10.08
K	7.98	20.43
L	9.82	25.67
M	6.85	16.59
N	16.23	7.62
O	10.27	14.10
Total	100(%)	

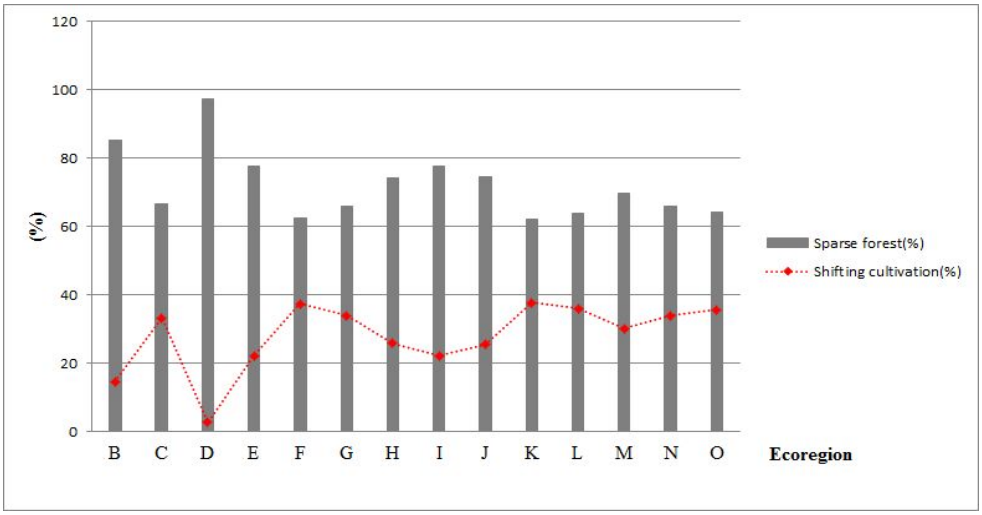


Figure 20. Shifting cultivation ratio as per sparse forest accordance with ecoregion in North Korea

2. 산림황폐지 생태적 요인

1989년에서 2008년 사이에 발생한 산림황폐지가 발생한 생태적 요인을 파악하였다. 우선, 북한 산림 황폐지역의 공간적 분포는 산림황폐지 전체에 군집거리 1,000m를 입력했을 때, 전역적 공간 자기상관인 Moran's I 지수 -1, Z-score = -13.46(p = $0.000 < 0.01$)로 나타났다. 산림황폐지가 한 지점에 몰려서 뚜렷한 공간 자기상관이 발생하지 않고 북한 전역에 비연속적으로 분산되어 분포하였다(Figure 19, left). 이 지도를 요인 1과 요인 2에 공통적으로 적재되는 변수(Table 17)를 이용하여 이항 로지스틱 다중회귀분석을 수행하였다. 북한 산림황폐지와 관련 있는 어떤 전역적 생태요인을 파악하기 위함이다.

Table 17. Covariance explain for binary multivariate logistic regression

Variables	Explain	Range		
		maximum	mean	minimum
alt	Elevation and cartography(m)	2489	592	0
bio1	annual mean temperature(*10)	117	58	-62
bio5	maximum temperature of warmest month(*10)	295	252	145
bio6	minimum temperature of coldest month(*10)	-48	-169	-302
bio10	mean temperature of warmest quarter	239	192	83
bio11	mean temperature of coldest quater	0	-92	-224
bio12	annual mean precipitation(mm)	1544	1062	546
bio13	precipitation of warmest month(mm)	441	2642	128
bio16	precipitation of wettest quarter(mm)	1002	617	313
swc_max	annual maximum soil water contents	100	98	64
swc_mean	annual mean soil water contents	100	89	58
swc_min	annual minimum soil water contents	100	73	47
swc_cov	coefficient of covariance	15.24	9	0
ss_mean	solar radiation mean of summer solstice	2184	1794	1611

(1) 산림에서 산림황폐지로

산림에서 산림황폐지로 토지피복이 변화한 주 요인들의 생태적 영향력을 이항 로지스틱 회귀분석을 통해 확인하였다. 황폐지로 변한 지역이

거나(1) 변하지 않는 지역(0)으로 이분하여 wald 통계량을 검증하였다. 결과 산림황폐지에 영향을 주는 생태적 주 요인은 온도와 토양수분이었다(Table 18). 혹한기의 평균온도, 토양수분지수 평균, 토양수분지수 최저치, 고도, 혹서기 온도, 토양수분 변동성, 일사량 등이 회귀식에 차례로 진입하였다. 진입한 변수는 북한의 산림황폐화에 어떤 연관이 있었다. 혹서월 온도, 혹한월 온도, 일사량, 토양수분지수 최소치, 토양수분 계절 변동성은 산림황폐지와 부적(-) 관계가 있는 요인이다. 극한 온도와 토양수분의 계절 변동성이 산림황폐지에 어떤 생태적 영향력으로 작동하였다. 강수량 변수는 어떤 생태적 인과 관계에서 제외되었다. 이것은 생태지역도를 제작할 때 첫 주성분의 세 가지 요인 중 북한지역은 강수량의 요인보다는 온도 요인이 작용한 것과 맥을 같이하는 결과이다.

Table 18. Variables in the equation changed forest into degraded forest model

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 10	bio5	-.041	.004	118.884	1	.000	.960	.953	.967
	bio10	.028	.003	63.226	1	.000	1.028	1.021	1.035
	bio11	.017	.002	121.644	1	.000	1.017	1.014	1.020
	bio6	-.009	.001	34.689	1	.000	.991	.989	.994
	alt	.000	.000	7.479	1	.006	1.000	1.000	1.001
	ss_mean	-.001	.000	4.318	1	.038	.999	.999	1.000
	swc_max	.040	.009	20.062	1	.000	1.041	1.023	1.059
	swc_min	-.061	.009	50.339	1	.000	.941	.925	.957
	swc_mean	.017	.008	4.172	1	.041	1.017	1.001	1.034
	swc_cov	-.070	.023	8.824	1	.003	.933	.891	.977
	Constant	4.258	.772	30.446	1	.000	70.675		

(2) 황폐지 중 무립목지

산림황폐지 중 무립목지로 변화된 지역의 생태적 요인은 11단계에서

회귀식에 진입하였다. 최한월 기온, 평균 토양수분함유량, 고도, 최소토양수분함유량, 혹한기 기온, 혹서월 기온, 혹서기 평균기온, 최고 토양수분함유량, 연 평균기온이 차례로 진입하였다(Table 19). 그러나 연 평균기온, 혹한기 기온, 그리고 토양수분 평균값은 유의확률이 낮았다($p > 0.05$). 무립목지 지역의 생태적 요인은 전체 산림황폐지의 생태적 요인과 비슷하였다. 온도와 토양수분이 무립목지에 어떤 영향으로 작용했다. 그러나 이들 생태적 요인 중에서 혹한기 온도와 토양수분 최소치는 무립목지와 부적(-) 상관이 있었다.

Table 19. Variables in the equation changed forest into sparse forest

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 11	alt	.001	.000	23.130	1	.000	1.001	1.000	1.001
	bio5	-.036	.004	69.116	1	.000	.964	.956	.973
	bio6	-.006	.002	13.681	1	.000	.994	.991	.997
	bio10	.016	.006	6.342	1	.012	1.016	1.004	1.029
	swc_max	.016	.006	7.088	1	.008	1.016	1.004	1.029
	swc_min	-.032	.005	35.634	1	.000	.968	.958	.979
	Constant	1.360	.418	10.593	1	.001	3.895		

(3) 농경지 개간

산림황폐지 중 경작지로 전용된 지역의 생태적 주 요인은 8단계에서 회귀식에 진입하였다. 혹한기 온도, 토양수분 최대치와 최소치, 혹서월 온도, 토양수분 평균치, 우기의 강수량, 그리고 혹서기 온도가 어떤 영향으로 작용하였다(Table 20). 무립목지로 변화된 지역과는 달리 경작지로 전용된 지역의 생태적 요인은 우기 3개월의 강수량에 의해 결정적 영향을 받고 있었다. 한반도에서 우기는 작물의 생장기와 중첩되고 천수답의 유지와 관련 있다. 북한은 강수량이 상대적으로 적고 토양수분이 메마른

생태계이다. 따라서 인간의 경작을 위한 인위적 간섭이 우기 3개월의 강수량이 많은 지역을 중심으로 발생하는 것은 당연하다. 고도가 높은 생태지역 N과 O는 강수량이 적지만 토양수분함유량이 높아서 무립목지에 대한 경작지 전용 비율이 높은 것과 유사하다(Figure 20). 최한월온도와 토양수분 최저치는 경작지 전용지역과 부적(-) 상관이 있다.

Table 20. Variable in the equation changed forest into dry field.

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 8	bio5	-.028	.006	25.586	1	.000	.972	.962	.983
	bio10	.011	.005	4.268	1	.039	1.011	1.001	1.022
	bio10	.003	.001	24.055	1	.000	1.003	1.002	1.005
	bio16	.001	.000	22.040	1	.000	1.001	1.000	1.001
	swc_min	-.076	.006	180.838	1	.000	.927	.916	.937
	swc_mean	.065	.005	139.838	1	.000	1.067	1.056	1.079
	Constant	1.599	.650	6.058	1	.014	4.948		

3. 생태지역별 토지피복과 우점식생

남한에만 나타나는 생태지역 A를 제외하고 B, C, D, E, F, H는 남과 북이 공유하는 생태계이지만 C 지역은 북한에 99%의 면적이 할당된다. 따라서 북한의 생태지역 C, G, I, J, K, L, M, N, O를 대상으로 Level 2 type 토지피복 특성(AX3_Table 3; AX3_Table 4)을 파악하였다. 정확도 검증을 마친 Level 2 type 토지피복도(유재심, 2011)를 기반으로 작성된 Level 3 type 토지피복도를 이용하여 생태지역별로 우점 토지피복(AX3_Figure 2)과 산림(AX3_Table 5)의 점유비율을 탐색하였다.

또한 생태지역도와 북한의 행정구역을 중첩하여 북한의 산림경영지대(산림총서, 1998; 리영진과 조금선, 2008; 김광보와 김경훈, 2010[a,b])별로

북한에서 제시하는 우점수종과 조림을 권장하는 수종을 정리하여 생태지역별 산림경영지대 우점종과 조림권장수종을 표로 작성하였다(AX3_Table 6).

(1) 남・북 공유 생태지역

남과 북이 공유하는 생태지역은 B, D, E, F, H이다(Figure 16). 그러나 H를 제외하면 면적 비율은 낮고 기후 조건도 남한과 유사하다. B의 북한지역은 고성군 일부에만 존재하고 무립목지 44%와 밭 19%이다. 남아있는 산림은 소나무와 참나무류 혼효림 16%, 참나무림 12%, 기타 낙엽활엽수림 10% 순이다. D 지역의 북한은 소나무와 참나무류 혼효림 40%, 참나무류 우점인 낙엽활엽수림 25%, 무립목지 17%인 전형적인 산림지대이다. E지역은 참나무 우점인 낙엽활엽수림이 45%, 소나무와 참나무의 혼효림 21%, 무립목지 11%로 전형적 낙엽활엽수림 지역이다. F의 북한지역은 무립목지 34%, 밭 21%와 논 11%로 토지피복이 나타났다. 무립목지와 한계농지가 많은 농경지대다. H지역의 북한은 원래 한강유역권이며 일부 임진강 유역이 포함되어 있다. 휴전선 북쪽에서 흔히 나타나는 토지피복으로 낙엽활엽수림 26%, 무립목지 25%, 혼효림 17%, 밭 경작지 14% 순으로 분포한다.

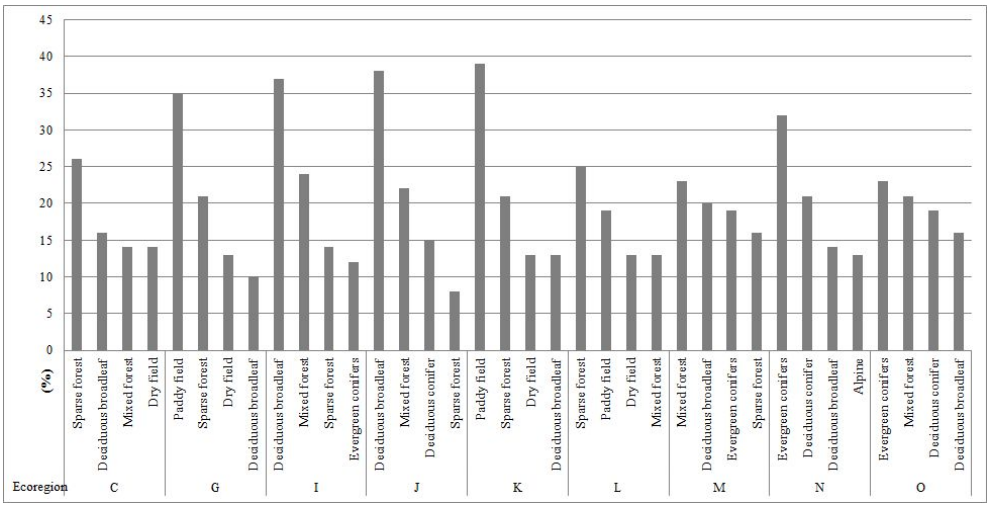
(2) 생태지역별 우점피복(Level 2 type)

아래 그림은 북한에만 나타나는 생태지역별 우점 토지피복을 나타낸다(Figure 21). 생태지역 G는 황해 저지이며 논 경작지가 우점한다. 논경작지 35%, 무립목지 21%, 밭 경작지 13%, 혼효림 9% 순으로 나타난다. 평야는 논농사가 이루어지고 야산은 무립목지와 밭 경작이 혼합된 경관이다. 생태지역 K는 평안 평야 생태계이다. 신의주평야, 안주・박천평야, 평양평야, 재령평야 등 논농사 위주의 토지피복이고 산림은 조각 형태로

무립목지가 우세하다. 양호한 산림은 낙엽활엽혼효림이다. 논경작지 39%, 무립목지 21%, 밭 경작지 13%, 낙엽활엽수림 13% 순이다. 논농사 지역의 산록지대에는 밭과 무립목지가 혼재되어 있는 경관이다.

생태지역 N은 상록침엽수림 32%, 낙엽침엽수림 21%, 낙엽활엽수림이 14%, 그리고 alpine와 sub-alpine 산림이 13% 가까지 차지하는 고원 산림지대이다. 생태지역 O는 상록침엽수림 23%, 혼효림 22%, 낙엽침엽수림 19%, 낙엽활엽수림 15% 비율로 전형적인 산림지대이다. 그러나 이 지역의 경작지 비율이 7%로 나타나서 기타 산림지대 농경지 비율보다 높다(AX3_Table 3; AX3_Table 4). 온도가 낮고 고도가 높은 고원 산림은 강수량은 상대적으로 적지만 수분증발산이 낮아서 공중수분이 유지되는 산림 생태계이다. 울창한 산림이 경작지로 개간되면 토양을 덮고 있는 이끼층이 사라지고 나지가 드넓게 드러난다. 강수량이 적은 북한의 생태계는 울창한 산림이 토양수분을 지지하기 때문에 고원 산림이 파괴되면 토양의 건조함이 가속화되고 차대형성이 방해되기 때문에 황폐화와 사막화가 가속될 것으로 추정한다.

Figure 21. Level 2 type land cover accordance with ecological region in North Korea



(3) 생태지역별 우점식생(Level 3 type)

생태지역별 Level 2 type의 우점 피복에 대한 Level 3 type 우점식생은 다음 표에 묘사된 것과 같다(Table 21). 북부 해안 건조 생태지역인 C의 토지피복은 무립목지 26%, 낙엽활엽수림 16%, 혼효림 14%, 상록침엽수림 10%과 기타로 구성된다. 낙엽활엽수림은 참나무류 70%와 그 외 교목성 잡목 30%의 비율로 구성되고, 혼효림은 소나무와 참나무류 혼효림이다. 양호한 상록침엽수림은 소나무_참나무림 구성과 소나무 단순림이 남아있다. 전체 토지피복의 26%인 무립목지는 67%가 초본 및 관목류가 드물게 피복하고 25%는 화강 풍화토 및 노두암 나출지이다.

중동부 낙엽활엽수림 생태지역 I는 낙엽활엽수림 37%, 혼효림 24%, 무립목지 14%, 상록침엽수림 13%의 산림과 기타로 구성된다. 낙엽활엽수림의 82%는 참나무류이고, 혼효림의 대부분은 상록침엽수와 낙엽활엽수림 혼효림이다. 상록침엽수림의 80%는 소나무, 그리고 나머지 20%는 한대성 상록침엽수종으로 구성된다. 무립목지는 초본성 나지 및 관목성 나지가 대부분이다. 함경 중 산간 생태지역 J는 낙엽활엽수림 38%, 혼효림 22%, 낙엽침엽수림 15%, 상록침엽수림 13%, 무립목지 8%가 피복한다. 낙엽활엽수림의 대부분은 참나무류이고, 혼효림도 소나무류와 참나무류의 혼효가 80%이다. 낙엽침엽수림은 이깔나무 단순림 36%와 이깔나무_낙엽활엽수림이다. 상록침엽수림의 구성은 소나무와 참나무류의 구성 61%, 소나무 단순림 26%, 한대성 상록침엽수림이 나머지를 차지한다. 기타 관목성 나지 42%, 초본성 나지 28%, 상록침엽성 나지 13%, 노두암 나출이 11%의 비율을 보인다. 온대 북부의 산림기후 구성을 나타낸다.

백두-개마고원 생태지역 N은 상록침엽수림 32%, 낙엽침엽수림 21%, 낙엽활엽수림 14%의 산림지대이다. 한대성 상록침엽수림이 86%, 소나무_참나무류 9%, 소나무류 5%이다. 낙엽침엽수림은 이깔나무 순림 66%, 이깔나무_낙엽활엽수림 33%이다. 낙엽활엽수림의 대부분은 자작나무류이고 참나무류가 29% 분포한다. 무립목지의 비율은 7%로 개벌지 특성이

69%가 나타난다. 12% 토지피복은 상록관목성 알파인 65%와 초본성 알파인 35%로 구성된다. 알파인 침엽수림대와 수목한계선이 나타난다.

낭림 산악 생태지역 O는 상록침엽수림 23%, 혼효림 22%, 낙엽침엽수림 19%로 구성된다. 상록침엽수림은 삼송류 순림 54%, 소나무_참나무류 30%, 소나무 순림 16%로 구성된다. 혼효림은 삼송류와 한대성 낙엽활엽수 구성이 59%이고 소나무와 참나무류 구성이 41%이다. 낙엽침엽수림은 이깔나무 순림 86%와 이깔나무_한대성 낙엽활엽수림 14%이다 (AX3_Table 5; AX3_Figure 2).

Table 21. Distribution(%) of dominant vegetation in Ecoregion of North Korea

Ecoregion	Level 2 type land cover	Ratio(%)	Level 3 type vegetation	Ratio(%)
C	Sparse forest	26	Bare rocks	7
			Evergreen coniferous baresoil	17
			Clear cutting	5
			shrubby	37
			Herbaceous baresoil	34
	Deciduous broadleaf	16	Quercus spp.	70
			Nuscekkabeiys woods	30
	Mixed forest	14	Pinus + Quercus spp.	90
			Boreal pine + Betula spp.	10
N	Evergreen conifers	32	Boreal pine	86
			Pinus_Quercus spp.	9
			Pinus spp.	5
	Deciduous conifer	21	Larix spp.	66
			Larix_Betula spp.	34
	Deciduous broadleaf	14	Betula spp.	67
			Quercus spp.	29
			Miscellaneous woods	3
	Alpine	13	Alpine evergreen shrubby	65
			Alpine grass	35

4. 소결

북한의 산림황폐지 변화량을 추정하고 잠재복원대상지를 추정하였다. 생태지역별로 생태적 요인, 그리고 Level 2 type과 Level 3 type의

우점 토지피복과 우점식생을 파악하여 경관정보를 도출하였다. 결과 다음과 같이 다섯가지로 요약할 수 있다.

첫째, 1989년에서 2008년 사이 북한의 산림황폐화는 특정 지역에 집중해서 나타난 현상이 아니고 북한 전역에 산재해서 나타났다(*Moran's I index = -1*). 도시화 지역이 많아서 인구밀도가 높고 황폐화가 진행될 것이라고 예상되는 생태지역 C, G, K 지역은 물론 전통적 산림지대인 M, N, O지역과 I지역에서도 산림황폐화 현상은 전역적 현상으로 나타났다.

둘째, 1989년에서 2008년 사이 북한 산림황폐지의 무립목지 지역과 농경지로 전용된 지역 사이에는 높은 양의 상관이 있어서($r = 91$) 무립목지 분포와 농경지 전용이 서로 연결되는 것을 추정할 수 있다. 산림의 대부분이 농경지로 전용되었을 것이라는 예상과는 달랐다. 산림이 무립목지로 된 양상이 더 컸다(Table 14). 북한의 산림은 새로운 개간으로 황폐화된 것이 아니고 1989년 이전에 개간된 산림이 방치되어 토양유실이 가속화된 것으로 판단된다. 토양유실로 비옥도가 떨어진 개간산지가 방치되어 토양건조가 발생하고 한계농지가 된 것으로 추정되었다.

셋째, 상대적으로 강수량이 적은 북한은 산림황폐지 중에서 농경지로 전용되는 요인은 고도와 관계없이 여름철 3개월의 강수량과 토양수분 최저치의 유지에 어떤 생태적 영향을 받고 있었다. 산림의 경작지 전용은 인간의 토지이용 요구와 관계있다. 경사지 농업은 천수답에서 요구하는 최소토양수분 유지와 농작물 생육기의 수분요구도 유지와 밀접한 관련이 있다. 따라서 산림전용의 생태적 요인이 우기 3개월의 강수량이 많은 곳에서 발생하는 것은 당연한 결과이다. 건조하고 고도가 낮은 경사지(150m-600m)의 산림 전용비율(25~32%)이 강수량이 적고 울창한 산림으로 토양수분 최소량이 유지되는 고원지대(1050m-1500m)의 무립목지에 대한 농경지 전용비율(32%~45%) 더 높았다(Figure 20). 경사지 농업은 토양수분이 유지되거나 수리시설의 개・보수가 전제되어야 유지되는 생태계이기 때문이다.

넷째, 북한에서 발행된 산림경영지대와 산림경영지구에 관한 논문(산림논총, 1998; 리영진과 조금선, 2008; 김광보와 김경훈, 2010[a,b])을 참조하여 생태지역의 행정구역 별로 북한의 우점종과 조림권장수종을 파악하였다(AX3_Table 6). 위 표는 산림황폐지 복원계획에서 적지적수를 선정하는 데 도움을 줄 것으로 판단한다. 북한은 지역별 조림가능 100수종을 선정하여 이중 45종을 주요 수종으로 간주하고 있다. 북한의 산림경영 제1지대는 생태지역 백두-개마고원과 낭림 산악지역이 속하고 6개의 산림경영지구로 나뉜다[53]. 백두-개마고원 생태지역의 우점종은 삼송림, 이깔나무 그리고 낙엽활엽수림이다. 낭림 산악지역의 우점종은 삼송림, 이깔나무림, 소나무림과 참나무림이다. 이 지역의 조림 추천 침엽수종은 이깔나무, 보천소나무, 가문비나무, 삼송류, 소나무, 짧은잎소나무, 맹산검은소나무, 주목, 잣나무 등이다. 낙엽활엽수는 황철나무, 봇나무(자작나무), 사스래나무, 피나무, 고로쇠나무, 다릅나무, 황경피나무, 두릅나무 등이다[54]. 전통적 수종 이외에 최근에는 아로니아(*Aronia melanocarapa*)와 비타민나무(*Hippophae Rhamnoides*)를 경제 수종으로 선호하였다.

북한의 제4경영 지대는 생태지역 C, K, L, H가 걸쳐있는 곳으로 농경지가 많고 황폐지가 많은 지역이다. 이 지역들은 경제수종으로 잣나무와 밤나무를 조림수종으로 선호하였다. 속성수인 창성이깔나무(*Larix leptolepis*)와 수삼나무(*Metasequoia glyptostroboides*)가 훼손된 토양에서 잘 생육할 수 있는 수종이기 때문에 보급용으로 추천되었다. 한계를 갖고 있는 정보이지만 북한 산림경관 복원계획에서 적지적수 선정에 유용할 것으로 예상된다.

---

53) 1998년에서 2008년 사이에 발행된 논문에서 6개의 경영지구가 9개의 경영지구로 분할된 것을 확인하였으나 정보의 부족으로 표에 반영하지는 못함.

54) 삼송(三松)은 종비나무, 분비나무, 가문비나무 등 북한의 고원지대에서 생산되는 주요 용재를 일컫는 통칭이다. 자주 등장하는 북한의 나무이름은 좁은잎황철나무(당버들), 가는잎소나무(스트로브잣나무), 거센소나무(풍겐스소나무), 수삼나무(메타세쿼이아), 짧은잎소나무(방크스소나무), 제주벗나무(왕벗나무), 창성이깔나무(일본이깔나무), 세잎소나무(리기다소나무) 등이 있다. 북한의 지역명을 붙인 수종 중 보천소나무는 양강도 보천군의 특산종이고 맹산검은소나무는 평안남도 맹산군 특산 소나무이다.

제3절 생태지역별 산림복원 목표선정

1. 산림황폐지 복원요인

(1) 남·북 공유 생태지역

남과 북이 공유하는 생태지역은 B, D, E, F, H이다. 이 중 한강유역을 공유하는 생태지역 H를 제외하면 면적비율이 낮고 기후조건이 남한과 유사하다. 따라서 남한의 산림복원 경험을 적용해도 무방한 지역이다. 만일 지역 연계형 복원전략을 수립한다면 남한의 생태지역과 공유하는 북한의 생태지역을 중심으로 지역을 연계하여 복원전략을 수립하는 것이 유리하다. 서울과 경기 지역은 남한과 한강유역을 공유하는 북한 지역을 연계하여 복원전략을 수립하고 복원목표를 설정하는 것이 생태적 경험을 공유할 수 있기 때문에 투입되는 자원의 양을 줄일 수 있다.

생태지역 B는 고성군 해안을 중심으로 일부에만 존재한다. 무립목지 44%와 밭 19%이다. 산림은 소나무와 참나무류 혼효림 16%, 참나무림 12%, 기타 낙엽활엽수림 10% 순이다. D는 북한은 소나무와 참나무 혼효림 40%, 참나무 우점인 낙엽활엽수림 25%, 무립목지 17%인 혼효림지대이다. E는 참나무 우점인 낙엽활엽수림 45%, 소나무와 참나무의 혼효림 21%, 무립목지 11%로 낙엽활엽수림 지대이다. F의 북한지역은 황해도 옹진군 일대에 무립목지가 34%, 농경지는 밭 21%와 논 11%로 황폐지가 많은 농업지이다.

(2) 북부 해안 건조 생태지역 C

황해도 옹진군, 과일군, 장연군에 한 군집이 나타난다. 함경북도 청진시, 김책시, 함경남도 단천시, 홍원군 등 해안지대를 따라 또 다른 지역이 형성되었다. 고도는 824m까지 분포하고 평균 199m이다. 지형의

경사는 4도 이하를 유지한다. 여름철 평균 온도가 20도로 한반도 평균보다 1도 낮다. 연 평균 강수량은 한반도에서 가장 적은 783mm로 한반도 평균보다 30% 낮다. 토양수분함유량 평균은 81로 한반도 평균 90보다 10% 정도 낮아서 토양이 메마르고 건조한 지역이다. 연 중 온도 변화가 상대적으로 적지만 여름철에 덜 덥고 겨울철에 따뜻하다. 그러나 연 중 내내 건조한 해안 생태계이다. 지역은 평균 남·동향이다. 연평균 기온은 8도이고 혹서기 3개월 평균 온도는 20도이다. 혹한기 3개월 평균온도는 -3도이다. 연 평균 영하일수는 114일이다. 연 평균 -10도 이하 일수는 18일을 기록한다. 무립목지 26%, 낙엽활엽수림 16%, 밭 경작지 14%, 혼효림 14%, 논 경작지 12% 순으로 나타난다. 무립목지의 70%는 초본 및 관목성 나지이고 17%는 상록침엽수가 드물게 서식하는 나지이다. 낙엽활엽수림의 70%는 참나무류이고, 혼효림의 90%는 소나무와 참나무류 혼효림이다. 황해지역은 소나무 단순림 혹은 소나무+참나무류 혼효림이 우점하고 북동해안은 소나무+참나무류 혼효림과 이깔나무림이 나타난다.

(3) 황해 저지 생태지역 G

생태지역 G의 고도는 704m까지 분포하지만 평균고도는 117m로 한반도에서 가장 낮은 지역이다. 혹서기 온도가 28로 중부지방 이북에 위치하나 한반도에서 두 번째로 높다. 겨울철 온도는 -4도로 한반도에서 남한의 D보다는 춥지만 북한에서는 가장 따뜻하다. 연평균 강수량은 997mm로 이중 우기 3개월간 570mm가 내리고 건기 3개월 동안에는 평균 68mm의 강수량을 기록한다. 한반도 평균과 비교하여 적다. 토양수분함유량 최저치는 66(하)이고 평균치는 97(상)로 높은 편이다. 저지대이며 여름에 무덥고 토지피복이 유지되지만 생산이 끝나면 나지가 드러나는 농업생태계로 유추한다. 남향이고 지역의 경사도는 2~5도 사이에 기울어져 있다. 0도 이하 일수는 118일이다. -10도 이하 일수는 24일이다. 토지피복은 논경작지 35%, 무립목지 21%, 밭 경작지 13%, 혼효림 9% 순으로

나타난다. 무립목지의 80%는 초본 및 관목성 나지이고 17%는 소나무림이 드물게 분포한다. 혼효림의 대부분은 소나무+참나무 구성이다. 논농사가 많은 지역이다. 나선시의 황금평 지역과 재령 충적평원 지역에 지리적 격리가 발생하였다.

(4) 함경 중·산간 생태지역 J

생태지역 J는 생태지역 C와 생태지역 N의 사이에 위치한다. 함경북도 은덕군에서 함경남도 신흥군까지 남서로 길게 뻗은 지역이다. 함경산맥 우측사면의 남동향이다. 고도는 35m에서 1555m까지 분포한다. 평균고도가 830m로 산악지역(mountain terrain)이다. 연평균 온도는 4도이고, 여름철 온도는 20도, 겨울철 온도는 -9도이다. 혹서기 온도와 겨울철 온도는 I와 유사하다. 토양수분함유량의 최대치, 최소치, 평균은 각각 한반도 평균보다 낮다. 즉, 산악지역이지만 울창한 산림은 아닌 것으로 유추할 수 있다. 연 중 영하일수는 157일이다. 이중 -10도 이하 일수는 67일이다. 연평균 강수량은 809mm 이고 이중 우기 3개월 간 457mm의 비가 내린다. 전체 강수량의 반 이상이 우기에 내린다. 건기 3개월 동안에는 45mm를 기록한다. 식생의 최저 생산성은 18(중)로 중하이다. 낙엽활엽수림 38%, 혼효림 22%, 낙엽침엽수림 15%, 무립목지 8% 순으로 나타난다. 낙엽활엽수림의 87%는 참나무류이고, 혼효림의 80%는 소나무와 참나무의 혼효림이다. 낙엽침엽수림은 이깔나무 단순림 36%와 이깔나무_자작나무류 64%이다. 전형적인 산악지대로 무립목지의 비율이 비교적 낮다.

(5) 백두-개마고원 생태지역 N

백두산을 위시하여 무산군, 운흥군, 연사군, 백암군, 부전·장진고원, 풍산·풍서고원, 삼수·갑산 고원지대이다. 평균 고도는 1453m로 한반도에서 가장 높다. 지형의 주향은 남향이다. 경사도는 0-22도 사이에서 평

균 4도이다. 연평균 온도가 0도에 가깝다. 연 평균 강수량은 936mm로 우기 3개월 동안 557mm가 내린다. 건기 3개월 동안에는 40mm를 기록한다. 토양수분 함유량 최저치는 86(상)으로 전국에서 높다. 토양수분 함유량 연 평균(95)은 전국에서도 높고 북한지역에서는 가장 높다. 식생의 최저 생산성지수는 21(중)로 북한에서 가장 높으나 남한과 비교하면 상대적으로 낮은 편이다. 극한 저온과 높은 지형조건 그리고 여름철 일사량이 지배하는 지역이다. 지역의 연 평균 영하 일수는 198일이다. 이 중 -10도 이하 일수는 연 중 120일이다. 상록침엽수림 32%, 낙엽침엽수림 21%, 낙엽활엽수림 14%, 고산 알파인 특성 12%, 혼효림 9%, 무립목지 7%, 농경지 4% 피복한다. 상록침엽수림은 한 대성 삼송림이 86%이고 나머지는 소나무류이다. 낙엽침엽수림의 66%는 이깔나무 순림이고 47%는 이깔나무_자작나무류 이다. 낙엽활엽수림의 67%는 자작, 사스레 등 자작나무류이고 29%는 참나무류, 나머지는 교목성 잡목이다. 알파인은 상록관목성 65%이고 초본성 35%를 보인다. 무립목지의 69%는 개벌지이다.

2. 생태지역별 복원목표

(1) 전문가 설문

해안에 접하고 도시가 발달한 생태계인 C는 연 평균 강수량이 한반도에서 가장 낮은 건조지역이다. 겨울에는 더 건조하여 황폐화의 정도가 크지만 풍부한 경관자원, 혼효림 형태의 산림에서 생물다양성 가치가 반영되었다. 복원목표로 생태관광 26%, 생물다양성 21%, 산림농업 18%를 나타냈다. 북한에서 평균 고도가 가장 낮고 분지형태의 수전 농업 생태계인 G는 산림농업이 40%, 논이 많은 전형적 평야지대인 K 지역은 산림농업 40%, 건조한 농업 생태계인 L에도 전문가들은 산림농업 36%와 생태관광 19%를 추천하였다.

강수량이 풍부하고 토양수분이 양호하여 낙엽활엽수림이 우점한 생

태계인 I지역은 보전림 26%와 생물다양성림 20%가 추천되었고 경사지 생태계이면서 자연림으로 형성된 J지역은 생물다양성과 보전림, 그리고 용재림의 순서로 추천되었다. 혼효림이 우점하고 낙엽활엽수림이 차우점한 M은 전형적 산림지대이지만 기암과 괴석이 많고 지형의 변화가 커서 북한에서도 경관이 수려한 지역으로 알려져 있다. 그러나 토양수분 함유량이 전국에서 가장 낮은 편에 속하여 방치하면 황폐의 가능성이 높은 생태계이다. 농업생태계에서 산림으로 이행되는(ecopause) 생태계인 M은 보전림 30%, 생물다양성림 22%, 그리고 생태관광이 추천되었다.

고원지대인 N지역은 백두산, 개마고원, 장진・부전고원 등으로 이루어져 북한에서 가장 양호한 산림이다. 고산 알파인 산림 특성이 12% 나타난다. 보전림 34%, 생물다양성 27%가 추천되었다. 산림을 이용한 생태관광도 추천되었다. 생태지역 O는 북한에서 소나무림 보호지역이면서 양질의 목재가 생산되는 용재림 지역이다. 보전림 36%, 생물다양성림 28%, 기후변화림 13%가 추천되었다(AX3_Figure 3).

전문가들은 전형적 농업생태계인 G, L, K에는 복원목표로 산림농업과 생태관광을 우세하게 추천하였다. 도시가 발달하고 해안에 인접하여 평균 온도가 상대적으로 높아서 볼거리가 많을 것으로 예상되는 생태지역은 C이다. 이 지역에는 생태관광과 생물다양성이 연동하여 나타났다. 산림지역 중 온대림에서 한대림으로 이행되는 생태계인 I, J, M 지역은 생물다양성, 생태관광, 용재림이 연동하여 나타났다. 한대림 지역인 N과 O는 보전림과 생태관광이 연동하여 나타났다. 생태관광은 구조와 기능이 안정된 상태에 도달한 생태계에서 추구하는 관광의 형태이다. 그러나 농업생태계, 훼손된 생태계, 복원과정의 생태계를 활용한 생태관광이 가능하기 때문에 북한에서 선호하고 있다. 전문가들은 북한 복원목표로 산림농업과 생태관광을 생태계 활용 측면에서 추천하였다(Table 22).

Table 22. Restoration goals accordance with ecoregion by expert decision

Ecoregion	Typical specifics	Restoration goals
G, L, K	Agricultural ecosystem	Agroforestry-Ecotourism-Climate adaptation
C	Scenic landscape ecosystem	Ecotourism-Biodiversity-Agroforestry
I, J, M	Transition ecosystem	Biodiversity-Conservation-Ecotourism
N, O	Sub-boreal ecosystem	Conservation-Ecotourism-Timber production

(2) 구조-기능 설명 모델

경관 생태계의 구조와 기능은 직선모델 관계로 상호작용 한다(이도원, 2001; Hobbs and Norton, 1996; Cortina et al., 2006). 본 연구에 사용된 복원목표를 생태계 기능과 구조의 관점에서 해석하면 그림과 같다(Figure 22). 생물다양성, 기후변화 적응, 산림농업, 용재림, 보전림 등 생태지역 복원목표는 광범위한 한 지역에 대한 포괄적 복원목표이다. 따라서 실제 복원계획에서는 생태지역 하부위계인 경관수준에서 생태지역 복원목표를 보완하는 상호 배타적인 복원목표가 필요하다(Figure 8).

산림농업 목표는 비교적 단시간 내에 생태계 기능과 주민의 생계 안정에 기여할 수 있기 때문에 북한의 실정에 적합한 단기 목표이다. 그러나 생태계 구조 안정에 기여하는 정도는 낮다. 또한 지면경사는 5° 이하에서만 토양수분이 유지되기 때문에 인공적 테라스 설계기법 적용이 요구된다. 때문에 경관수준에서는 서식지를 다양화시키는 복원목표가 추가되어야 한다. ICRAF의 산림농업 프로그램은 좋은 예이다. 북한은 ICRAF와 협력하여 산림농업 설계기법, 관리 방법, 산림축산 등 점진적 현장적용과 기술보급 실험을 하고 있다. ICRAF의 북한 산림농업 모델은 경관요소, 생산 기능, 농업생태계 적응, 기술력 투입의 4가지로 범주화된다. 사이트에는 농업 적응력, 토질 및 자연요소를 고려하여 토양보전, 산림축산, 토양수분, 질소고정, 수확과 퇴비생산을 병행하여 농업 생산성을 꽤하고 산림 보호기능을 유지한다.

우리나라의 북한 AR/CDM 혹은 REDD 연구는 복원과정의 경제성을

확보하기 위한 방법의 하나로 취급된다. 그래서 열대우림의 성과와 비교하기 위해 속성수 중심의 단순림 복원계획을 유도한다. 그러나 북한의 생태적 요인은 열대우림과 다르다. 아시아 열대우림은 조림에서 생산까지 20년이 걸린다. 시베리아는 조림에서 수확까지 200년이 걸린다. 북한은 땔감과 동발림 생산이외에 용재림 수확을 위해서는 적어도 50년에서 100년의 시간이 걸리는 생태계이다. 열대우림 사례를 북한에 적용하기보다는 새로운 전략을 연구할 필요가 있다. REDD는 하위 수준에는 인도적 경제성을 향상시키고(오영출, 2012) 기후변화 적응과 생태계 구조와 기능 안정에 기여할 수 있는 다양한 방법이 있다. 경관수준의 산림농업, 고원습지 보호, 지속적으로 파괴되는 알파인 보호, 자생종 보전과 생태관광 요소가 상보적으로 반영되어야 한다(Figure 8).

생물다양성 목표는 황폐한 생태계가 오랜 시간동안 천이의 과정을 거쳐 생태계 기능과 구조가 균형을 이루는 상태를 말한다. 경관수준의 생물다양성 가치를 평가할 수 있는 방법과 동물과 식물의 서식지가 보호되도록 계획 및 설계되어야 한다. 그러나 단기적으로 생태계 기능 혹은 구조를 안정시킬 수 있는 상보적 복원목표의 개발과 계획기법이 필요하다. 아한대 산림경관은 장기적으로 생태계 기능과 구조 개선을 위한 자연복원 방법이 요구된다. 아한대 산림농업은 장기적으로 생물다양성 목표에 부합하도록 시나리오가 적용되어야 한다.

북한의 생태지역 복원목표에서 전문가들이 가장 높은 빈도로 추천한 것은 생태관광이다. 전문가들이 선호하는 북한의 생태관광 형태는 대안적 관광의 형태를 포괄하는 개념으로 해석된다. 이런 관점에서 훼손된 생태계를 활용한 생태관광과 복원과정의 생태교육도 높은 사회·경제적 가치를 창출할 수 있다. 북한은 국가환경보호위원회가 관리하는 37개 습지가 있다. 북한은 2020년까지 육지면적의 17%와 해양의 10%를 보호지역으로 지정하려는 의지를 가지고 있다. 현재 백두산-나선지구-칠보산-동해안을 연결하는 생태관광 개방에 매우 적극적이다. 복원의 전 과정에

서 북한의 자연 환경을 활용하여 사회·경제적 가치를 창출할 수 있도록 생태관광으로 대표되는 대안관광 요소를 고려할 필요가 있다.

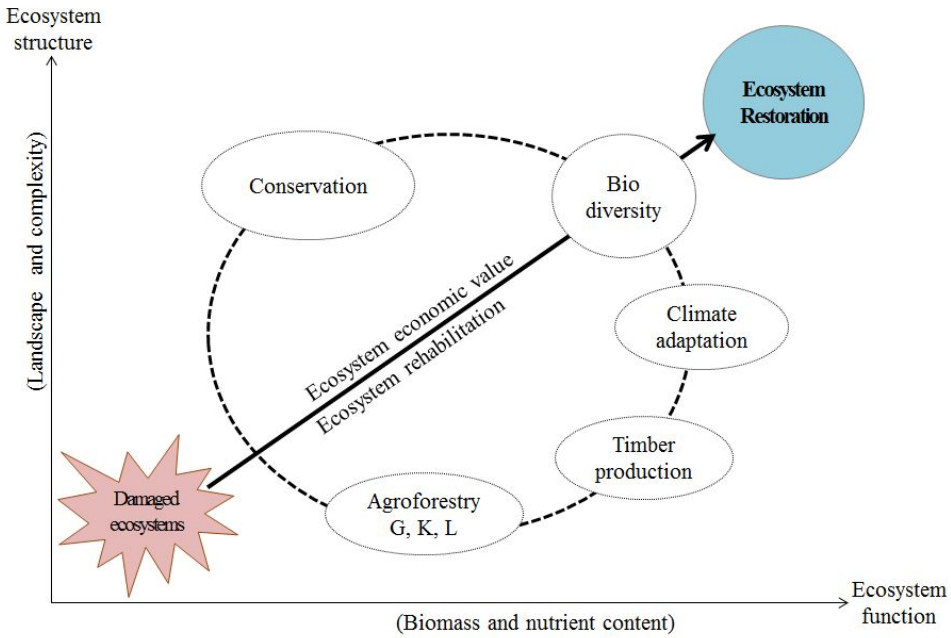


Figure 22. Ecosystem linear function-structure model matching for restoration goals

제5장 결론

한반도 생태지역 유형화를 통해 북한의 생태적 요인탐색, 잠재복원대상지 분석, 경관정보를 탐지한 결과를 바탕으로 전문가 설문에 의해 복원목표를 선정하는 연구를 진행하였다. 훼손된 북한 산림경관의 생태적 복원모형 연구의 결론은 다음 아홉 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 산림경관 복원을 위한 생태지역 유형화는 잠재복원대상지 복원에 필요한 생태적 요인을 도출하기 위한 목적적 생태지역이다. 따라서 용도에 적합한 변수가 선택되어져야 한다. 본 연구에서는 공간 해상도 1km의 고도, 온도, 강수량 이외에 토양수분함유량, 생산성, 일사량에 관한 변수가 포함되었다. 전통적 생태지역 모델링이 목적이라면 단순히 기후와 지형변수를 이용하면 된다.

둘째, 남한과 북한은 생태적 주성분에서 차이를 나타내는 생태계이다. 남한은 상대적으로 강수량이 많고 토양수분함유량이 풍부한 생태계이다. 반면 북한은 저온과 높은 고도의 지문학적 특성과 건조함의 정도가 지배하는 생태계이다. 남한과 공유하는 북한의 생태지역은 북한 국토면적의 약 12%이다. 나머지 약 88%의 생태지역은 남한에서는 거의 경험하지 못하는 북한에서만 나타나는 생태계이다.

셋째, 북한의 산림황폐지 복원계획을 할 경우에 북한 면적의 약 12%는 남한의 성공적 조림경험을 바탕으로 복원계획을 하는 것이 가능하다. 북한 국토면적의 약 88%는 남한과는 다른 생태적 특성을 보인다. 복원계획을 할 경우, 남한의 조림경험을 그대로 적용하기 보다는 새로운 접근방법을 모색해야 한다. 공간위계, 생태적 요인분석, 복원목표 설정, 복원계획에서 북한 맞춤형 분석적 모델을 도입해야 한다는 것을 의미한다.

넷째, 최근 급속하게 개발된 북한의 고원지역 산림 전용은 산림의 울폐도와 공간적으로 관련이 있었다. 고원의 경사도가 낮기 때문에 강수

량 이외에 토양수분함유량 최저치가 일정하게 유지되는 것과도 관련이 있다. 생태지역 N과 O는 해발 고도가 낮은 경사지보다 무립목지에 대한 경작지 전용 비율이 더 높았다. 산림 울폐도가 높고 토양수분함유량이 높은 백두-개마고원과 낭림 산악 생태지역은 낮은 온도로 인해 수분의 증발산량도 적어서 공중수분이 유지되고 지표의 이끼층에 차대를 형성하는 생태계이다. 개간으로 수목과 이끼층이 파괴되면 사막화가 빠르게 진행되어 북한 전체 생태계에 영향을 줄 것으로 판단된다. 단순히 물리적 경사도를 기준으로 복원대상지를 선정하는 것은 대안이 될 수 없다.

다섯째, 기준연도 1989년에 NDVI가 낮은 약 10%의 지역이 2008년에 황폐지역으로 분류되었다. 인구밀도가 높은 남·서부 농업 생태계와 산림이행 생태계에 주로 분포하였다. 이 지역들은 토양수분함유량이 낮고 식물의 생산성도 낮았다. 1989년 이전부터 전용되었던 산림이 경제난 등으로 방치되어 더 황폐화된 것과 관계있을 것으로 추정하였다. 이는 북한 내부자본과 기술에 의한 자력복원의 어려움을 의미한다. 복원을 시행하는 경우에는 토양수분함유량 유지와 함께 토양 유기질의 복원이 우선 강구되어야 한다.

여섯째, 북한 산림황폐지 복원목표 선정에서 전문가들은 농업생태계인 G, K, L 지역에 산림농업과 생태관광을 연동하여 대안으로 제시하였다. 평야지대와 산림을 연결하는 이행생태계는 전문가들이 생물다양성과 생태관광을 연계하는 대안을 제시하였다. 양호한 한대림 생태계에 대해서는 보전림과 생물다양성 그리고 생태관관을 대안으로 제시하였다. J와 M은 생물다양성, N과 O는 보전림과 용재림이 대안으로 제시되었다.

일곱째, 생태지역별 복원목표의 선정은 장·단기 사회·경제적 가치를 산출하기 위한 것과 관련 있다. 산림농업은 단기간 내에 생태계 기능을 안정시키고 지역민의 생계를 유지시키는 장점이 있다. 용재림은 바이오매스를 증가시키고 토양비옥도를 향상시키지만 시간 해상도가 높고 숲을 단순화시키는 단점이 있다. 따라서 경관수준 복원목표에는 생태계 구

조를 향상시킬 수 있는 상호 배타적인 단기 목표를 보완해야 한다. REDD등은 하위 공간위계에 다양한 방법론의 적용이 개발되어 있다. 단순히 황폐지 면적만을 독립변수로 열대림 사례를 북한에 적용하는 것은 의미가 없다. 알파인 보전, 고원습지 보호, 산림농업 등 경관수준 목표가 보완되어야 한다. 생태관광은 생태지역 복원목표와 연동하여 가장 높은 빈도로 추천되었다. 전문가들은 생태계 보전은 물론 활용에도 적극적인 것으로 판단하였다. 생태관광은 대안적 관광의 형태를 포함하면 생태계가 안정된 상태는 물론 황폐화 된 현재와 복원과정에서도 높은 사회·경제적 가치를 창출할 수 있는 장점이 있다. 생태관광 요소를 활용하여 북한 복원계획에 적극적으로 반영할 필요가 있다.

여덟째, 본 연구는 산림경관의 생태적 복원모형을 생태지역 수준에서 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이용 가능한 GIS 공간변수를 고려하여 북한 산림의 생태적 복원방법을 처음으로 시도한 기초연구로 의미가 있다. 그러나 산림경관복원은 경관맥락의 계획을 지향한다. 따라서 한반도 전체를 생태지역-경관수준-사이트의 3단계 혹은 계획공간인 생태지역-하위 생태지역(sub ecoregion)-경관수준, 사업공간인 사이트-비오톱의 5단계 유형이 공간위계에서 복원의 목표가 조화롭게 부합되도록 하여야 한다. 한반도 전체의 토양도 확보와 더불어 후속 연구 과제로 남긴다.

아홉째, 산림경관의 생태적 복원모형은 방법론이 명확하기 때문에 당국 간 전문가간 의사결정이 수월한 장점이 있다. 이해당사자간 불필요한 오해를 줄일 수 있는 장점이 있다. 북한은 2012년 「FLR 평양 국제세미나」를 개최한 경험이 있다. 북한 산림경관의 생태적 복원에 관한 본 연구는 황폐한 북한 산림복원과 복원의 과정에서 기본계획을 수립하고 실용적 방법론을 개발하는 데 기여할 수 있을 것이다.

References

강신규, 2005. MODIS 엽면적지수 및 일차생산성 영상의 구름 영향 오차 분석: 우리나라 몬순 기후의 영향, 한국생태학회지, 28(4): 215-222

강신규, 김영일, 김영진, 2005. MODIS 총일차생산성 산출물의 오차요인 분석: 입력기상자료의 영향, 한국농림기상학회지, 7(2): 171-183.

공우석, 1998. 한반도 생물지리구의 설정과 종구성. 지리학회지 40: 43-54.

김광보, 김경훈, 2010. 우리나라 주요임종들의 지역적분포특성에 대한 연구-아한대북부내륙고원지대-. 산림과학(3): 2-6.

김경훈, 김광보, 2010. 우리나라 주요임종들의 지역적분포특성에 대한 연구. 산림과학(4): 2-7.

김도형. 2006. MODIS 다중시기 영상을 이용한 북한지역의 토지피복 변화분석. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문

김영일, 강신규, 김준, 2007. 입력자료 개선에 의한 MODIS 총일차생산성의 신뢰도 향상. 한국농림기상학회지 9(2): 132-139.

김용만, 1990. 인자분석에 의한 한국의 기후구분, 지리학(41): 49-56.

김원주. 2004. 자연환경 관련 공간변수를 이용한 한반도 토지피복 분류. 서울대학교 대학원 박사학위 논문

김의홍과 이석민, 1996. NOAA AVHRR 자료를 이용한 한반도 토지피복 변화연구. 한국 GIS 학회지4(1): pp 13-20.

남기덕, 1999. 한반도 식생의 연중 변화고찰을 위한 Global NDVI 자료의 보정방법 연구. 서울대 환경대학원 석사학위논문.

도나영, 강신규, 명수정, 천태훈, 이지혜, 이종범, 2012. MODIS 광합성유효복사흡수율과 WRF 기상자료를 이용한 북한지역의 총일차 생산성 추정. 대한원격탐사학회지 28(2): 215-226.

리영진, 조금선, 2008. 위성정보자료에 의한 우리나라 주요임종구분. 과학기술자료집, 수림화, 원림화. 공업출판사.

박경석, 이성연, 박소영, 2011. 북한의 경제사회적 여건을 고려한 황폐산림복구 기본방향 연구. 한국임학회지 100(3): 423-431.

산림총서(2), 1998. 공업출판사. 조선민주주의인민공화국

신준환, 김철민, 1996. 우리나라의 생태계 구분(I). 임업연구원 산림과학논문집(54): 188-199.

오수영, 1977. 한국유관속식물의 후로라와 분포에 관한 연구. 생물과 자연 7(1):12-38.

오영출, 2012. 북한지역의 기후변화협약 산림메카니즘 활용방안 연구. 서울대학교 대학원 협동과정 조경학 박사학위논문

오택섭과 최현철, 2003. 사회과학 데이터 분석법, (주)나남출판. 서울

유재심, 박종화, 이승호, 2011. 생물계절 상 분석을 통한 Level 3 type 북한 토지피복 특성. 대한원격탐사학회지 27(4): 457-466.

유재심, 2013. 학술연구 논의에서 발생하는 귀화식물의 부정적 인식과 문화적 배제, 환경복원녹화 16(2): 63-74.

이규성, 1999. 시계열 AVHRR 위성자료를 이용한 한반도 식생분포 구분. 한국임학회지 83(4): 441-449.

이도원, 2001. 경관생태학 -환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리-. 서울대학교출판부

이동근, 오영출, 김재욱, 2007. A/R CDM을 위한 북한지역의 산림변화 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 10(2): 97-104.

이우철과 임양재, 1978. 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구, 한국식물분류학회지 8; 1-33.
이우철, 2002. 식물지리, 강원대학교 출판부 p412.
이정호, 최원석, 김용일, 윤창열, 조덕기, 강용혁, 2013. 천리안 기상영상기 영상을 이용한 한반도 지역의 수평면 전일사량 추정. 대한원격탐사학회지 29(1): 151-160.
조장환, 구자춘, 윤여창, 2011. 북한 산림전용 방지수단으로서의 REDD 사업의 경제적 타당성 분석. 한국임학회지, 100(4): 630-638.
최미희, 윤진일, 2011. 북한지역 상세격자 디지털 일사량 분포도 제작. 한국농림기상학회 13(1): 41-46.
한기주, 윤여창, 2007. 북한 지역을 대상으로 한 조림 CDM 사업의 경제적 타당성 연구. 한국임학회지 96(3): 235-244.

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.
Alselin, L., Cohen, J., Cook, D., Goor, W. and Tita, G., 2000. Spatial analyses of crime, Criminal Justice 2000, Washington, D.C.: National Institute of Justice.
Austin, M.A., D.A. Buffett, D.J. Nicolson, G.G.E. Scudder, and V. Stevens (editors). 2008. Taking nature's pulse: the status of biodiversity in British Columbia. Biodiversity BC, Victoria, B.C. www.biodiversitybc.org (Accessed March 30, 2010).
Bailey, R.G., 1984. Testing an ecosystem regionalization, Journal of Environmental Management, 19: 239-248.
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.
Beechie, T. J., Sear, D. A., Olden, J. D., Pess, G. R., Buffington, J. M., Moir, H., Roni, P. and M. M. Pollock, 2010. BioScience 60(3): 209-222.
Belote, R. T., Makarick, L. J., Kearsley, M. J. C. and C. L. Lauver, 2010. Tamarisk Removal in Grand Canyon National Park: Changing the Native- Non-native relationship as a restoration goal. Ecological Restoration, 28(4): 449-459.
Bradshaw, A. D., 1984. Ecological principles and land reclamation practice, Landscape Planning, 11: 35-48.
Birch, J., Newton, A.C., Alvarez Aquino, C., Cantarello, E., Echeverria, C., Kitzberger, T., Schiappaccasse, I. and N. Tejedor, 2010. Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 107(50): 21925-21930.
Boedhihartono A.K. and J. Sayer, 2012. Ch. 16. Forest Landscape Restoration: Restoring What and for Whom? in Forest Landscape Restoration: Integrating Natural and Social Sciences, Springer, London.
Bryce, S.A and S.E. Clarke, 1996. Landscape-level ecological regions: Linking state-level ecoregion fromeworks with stream habitat classification. Environmental management 20: 297-311.

Brown K., 2005. Addressing Trade-Offs in forest Landscape Restoration in in Forest Restoration in Landscape : Beyond Planting Trees, Springer, London.

Bullock, J.M., Aronson, J., Newton, A.C., Pywell, R.F. and J.M. Rey-Benayas, 2011. Restoration of ecosystem service and biodiversity. Trends in Ecology and Evolution, 26(10): 541-549.

Chazdon R.L., 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Service on Degraded Lands, Science 320, 1458.

Chen, L., Wang, J., Wei, W., Fu, B. and D. Wu, 2010. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Platue Region, China. Forest Ecology and Management, 259: 1291-1298.

Choi, D. Y., 2007. Restoration ecology to the future: a call for new paradigm. Restoration Ecology, 15(2): 351-353.

Connections International Model Forest Network News Issue 1, 2012.

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.

Coops, N.C., Wulder, M.A. and D. Iwanicka, 2009. An environmental domain clasification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment, Ecological Informatics 4; 8-22.

Cortina, J., Maestre, F. T., Vallejo, R., Baeza, M. J., Valdecantos, A. and M. Perez-Devesa, 2006. Ecosystem structure, function, and restoration success: Are they related?, Journal for Natural Conservation, 14: 152-160.

Davis, F. and S. Goetz, 1990. Modeling vegetation pattern using digital terrain data, Landscape Ecology, 4(1): 69-80.

DeLong, S.C., Griesbauer, H., Mackenzie, W. and V. Foord, 2010. Corroboration of biogeoclimatic ecosystem classification climate zonation by spatially modelled climate data, BC Journal of Ecosystems and management, 10(3): 49-65.

Dominick, A., DellaSala, A.M., Randi S., Todd, S., Bryan, B., Marnie, C., Chris van D., Jake, K., Rick B. and A. Greg., 2003. A Citizen's call for ecological forest restroration : Forest Restoration Princeiples and Criteria. Ecological Restoration 21(1); 14-23.

Dorman, M., Svoray, T. and A. Perevolotsky, 2013. Homogenization in forest performance across an environmental gradient-The interplay between rainfal and topographic aspect. Forest Ecology and Management 310(2013): 256-266.

Dubovyk, O., Menz, G., Conrad, C., Kan, E., Machwitz, M. and A. Khamzina, 2013. Spatio-temporal analyses of cropland degradation in the irrigated lowlands of Uzbekistan using remote-sensing and logistic regression modeling, Environ Monit Assess, 185: 4775-4790.

Dudley, N., Mansourian, S. & Vallauri, D. 2005, "Forest Landscape Restoration in Context" in Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees eds. S. Mansourian, D. Vallauri & N. Dudley, (in cooperation with WWF international) Springer, New York, pp. 3-7.

Dudley N, Morrison J., Aronson, J. 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., 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.

Ecological Restoration Guidelines for British Columbia, 2004. Biodiversity Branch, Minisrty of Water, Land and Air Protection.

Eidenshink, J., 2006. A 16-year time series of 1 km AVHRR satellite data of the conterminous United States and Alaske, Photogrammertic Engineering & Remote Sensing 72(9): 1027-1035.

FAO, Global Forest Resources Assessment, 2005. {rpgress towards sustainable forest management, FZO Rome.

FAO, 2010. State of the World's Forests. FAO. Rome.

FAO, 2011. State of the World's Forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Farmer, C.J.Q., Nelson, T.A., Wulder, M.A. and C. Derksen, 2010. Identification of snow cover regimes through spatial and temporal clustering of satellite microwave brightness temperatures. Remote Sensing of Environment, 114; 199-210.

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.

Field, A. 2009. discovering Statistics using SPSS. Sage, London.

Focus, 2005. Inforesources, Forest Landscape Restoration. Focus no2.

Foley J.A., 2005. Global Consequences of land use. Science 309(5734): 570-574

Fu, P. and P.M. Rich. 2000. The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.

Fu, P., and P.M. Rich. 2002. A geometric solar radiation model in its applications in agriculture and forestry. Computers and Electronics in Agriculture 37: 25-35.

Fu, B. J., Liu, G. H., Lu, Y. H., Chen, L. D. and K. M. Ma, 2004. Ecoregions and ecosystem management in China, Int. J. Sustain. Dev. World Ecol. 11: 397-409.

Fujiwara, K and J. Kudoh, 2005. NDVI analysis in Korea with NOAA AVHRR Images, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings, pp3067-3069.

Garcia, M., Sandholt, I., Ceccato, P., Ridler, M., Mougin, E., Kergoat, L., Morillas, L., Timouk, F., Fenshot, R. and F. Domingo, 2013. Actual evapotranspiration in drylands derived from in-situ and satellite data: Assessing biophysical constraints, Remote Sensing of Environment, 131: 103-118.

Good, R., 1947. The Geography of Flowering Plants, Longman Green.

Hall, J. E., 1997. Canada's model forest program-Bringing community forest valuse into the development of sustainable forest management in the Canadian context. Rural Development Forestry Network Paper 20e Winter: 14-22.

Hallett, L. M., Diver, S., Eitzel, M. V., Olson, J. J., Ramage, B. S., Sardinas, H.,

Statman-Weil, Z. and K. N. Suding, 2013. Do we practice what we preach? Goal setting for ecological restoration, Restoration Ecology, 21(3): 312-319.

Hansen, M.C., Defries, R.S., Townshend, J.R.G. and R. Sohlberg, 2000. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach, International Journal of Remote Sensing, 21(6): 1331-1364.

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.

Hagrove W.W. and F.M. Hoffman, 2005. Potential of Multivariate Quantitiative Methods for Delineation and Visualization of Ecoregions, Environmental Management 34(5): 1-21.

Hargrove, W.W., Hoffman, F.M. and B.E. Law, 2003. New analysis reveals representativeness of the Ameriflux Network, EOS, 84(48): 529-544.

Hastie, T., Tibshirani, R. and J. Friedman, 2009. The Elements of Statistical Learning, Springer 2nd edition, New York

Hessberg, P.F., Salter, R.B., Richmond, M.B. and B.G. Smith, 2000. Ecological subregions of the interior Columbia Basin, USA. applied Vegetation Science 3: 163-180.

Hijmans. R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

Hobbs, R. J., 2004. Restoration ecology; the challenge of social values and expectations. frontiers in Ecology and Environment 2: 43-44.

Hobbs, R. J. and D. A. Norton, 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology, Restoration Ecology, 4: 93-110.

Hobbs, R. J., Hallett, L. M., Ehrlich, P. R., and H. A. Mooney, 2011. Intervention ecology: applying ecological science in the twenty-first century. BioScience 61(6): 442-445.

Hyde, T., Isenring, C.M., Connor, R.P.O., Staffen, A. and R. Staffen, 2010. Biotic inventory and analysis of the Kettle Moraine State Forest.

International Model Forest Network News: Connections, 2012 Issue 1. International Model Forest Network Secretariat

IUCN, 2005. Restoring Forest Landscapes: An introduction to the art and science of forest landscape restoration. Technical Series 23.

IUCN_WWF, 2002. Forest Landscape Restoration, Kenya Country Report: Analysis of existing initiatives and policy and legal framework in Kenya.

IUCN_WWF and EARO, 2005. Forest Landscape Restoration, Kenya Country Report.

Jenerette, G.D., Lee, J., Waller, D.W. and R.E. Carlson, 2002. Multivariate Analysis of the Ecoregion Delineation for Aquatic Systems, Environmental Management, 29(1): 67-75.

Jenks, G., 1977. The Data Model Concept in Statistical Mapping, International Yearbook of Cartography 7: 186 - 190.

Jensen, M.E., Goodman, I.E., Bourgeron, P.S., Poff, N.L. and C.K. Brewer, 2001. Effective of biophysical criteria in the hierarchical classification of drainage basins. Journal of

the Americal Water Resources Association 37: 1155-1167.
Jim, C. Y., 2012. Restoration of forests associated with New Town development in Hong Kong, A goal-oriented approach to Forest Landscape Restoration(eds. by Stanturf et al.), World Forests, Springer Science + Business Media.
Jenerette G. D., Lee J. and D.W. Waller, 2002. Multivariate Analysis of the Ecoregion Delineation for Aquatic System, Environmental Management 29(1); 67-75.
Jensen, J. R., 2004, Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective, 3rd edition, New York: Pentice Hall
Kim, D.H., Huang, C. and J.R.G. Townshend, 2010. Forest Cover Change in the Korean Peninsular assessed using Global Land Survey (GLS) data ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/
Kumar, J., Mills, R.T., Hoffman, F.M. and W.W. Hargrove, 2011. Parallel k-means clustering for quantitative ecoregion delineation using large data sets, Procedia Computer Science, 4: 1602-1611.
Laestadius, L., Maginnis, S., Minnemeyer, S., Potapov, P., Saint-Laurent, C. and N. Sizer, 2011. Mapping opportunities for forest landscape restoration. Unasylva 238, 62:47-48.
Lamb, D., Stanturf, J. and P. Madsen, 2012. What is Forest Landscape Restoration?, (eds) Forest Landscape Restoration : Intergrating Natural and Social Sciences, World Forest 15, Springer Science, 2012.
Leathwick, J.R., Overton, J. McC. and McLeod, M., 2003, An Environmental Domain Classification of New Zealand and Its Use as a Tool for Biodiversity Management, Conservation Biology, 17(6): 1612-1623.
Lindenmayer, D.B., Franklin, J.F. and J. Fischer, 2010. General management principle and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation, Biological Conservation, 143: 2405-2411.
Loveland, T.R. and J.M. Merchant, 2004. Ecoregions and ecoregionalization: geographical and ecological perspectives, Environmental Management, 34(1): 1-13.
Maginnis S, and Jackson W. 2007 What is FLR and how does it differ from current approaches? In: Rietbergen-McCracken J, Maginnis S, Sarre A(eds) The forest landscape restoration handbook. Earthscan, London, pp 5-20.
Maginnis, S., 2011. National Assessment of the Potential for Forest and Landscape Restoration(FLR) - a new tool to support landscape restoration. BONN Challenge.
McMahon, G., Gregonis, S.M., Waltman, S.W., Omernik, J.M., Thorson, T.D., Freeouf, J.A., Rorick, A.H. and J. E. Keys, 2001. Developing a spatial framework of common ecological regions for the conterminous United States. Environmental Management, 28(3): 293-316.
Mansourian, S., Vallauri, D. and N. Dudley, 2005. Forest Restoration in Landscapes beyond Planting Trees. Springer, New York.
McCune, S., 1941. Climatic regions of Korean and their economy. Geographical review, Jan., The American Geographical Society of New York: 95-99.
Minnemeyer, S., Laestadius, L., Sizer, N., Saint-Laurent, C and P. Potapov, 2011. A world of opportunity. Washington, D.C., World Resource Institute. at

www.wri.org/restoringforests.
Morison J, Sayer J, and C. Loucks, 2005. Restoration as a Strategy to Contribute to Ecoregion Visions. in Forest Restoration in Landscape : Beyond Planting Trees, Springer, London.
Mouratidis, A., Briole, P., Katsambalos, K., 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.
Nakai, T., 1935. Notulae ad plantas Japoniae XXVI in Bot. Mag. Tokyo36; 20-26.
Newton A.C., Castillo R.F., Echeverria C., Geneletti D., Gonzalez-Espinosa, Malizia L. A., Premoli A.C., Rey Benayas J. M., Smith-Ramirez C. and G. Williams-Linera, 2012. Forest Landscape Restoration in the Drylands of Latin America. Ecology and society 17(1): 21
[a]Oliver, C.D., Covey, K., Aron H., David L., J.B. McCarter, A. Niccolai and J. wilson, 2012. Landscape Management in Forest Landscape Restoration: Integrating Natural and Social Sciences(Eds.) Springer, London.
[b]Oliver, C.D., Covey, K., Hojl, A., Larsen, D. McCarter, J.B., Niccolai, A. and J. Wilson, 2012. Landscape Management, p42-46 (edi) Forest Landscape Restoration : Intergrating Natural and Social Sciences, World Forest 15, Springer Science, 2012.
Olson D.M., E. Dinerstein, 1998. The global 200: a representation approach to conserving the earth′s most biological valuable ecoregions. Conservation Biology, 12: 502-515.
Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D′amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Wettengel C., Hedao P. and K.R. Kassem, 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth, BioScience 51(11):933-938.
Omernik, J.M., 2003. THE MISUSE OF HYDROLOGIC UNIT MAPS FOR EXTRAPOLATION, REPORTING, AND ECOSYSTEM MANAGEMENT, Journal of the American Water Resources Association, 39(3): 563-573.
Omernik, J.M. and R.G. Bailey, 1997. Distinguishing between watersheds and ecoregions, Journal of the American Water Resources Association, 33(5): 935-949.
Orsi, F. and D. Geneletti, 2010. Identifying priority areas for forest landscape restoration in Chiapas(Mexico): an operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. Landscape and Urban Planning, 94: 20-30.
Orsi, F., Geneletti, D. and A.C. Newton, 2010. Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: an expert panel-based approach, Ecological Indicators, 11(2): 337-347.
Overton, J. M., Leathwick, J. R., Stephens, R. T. T. and A. Lehmann, 2002. Information yramids for informed ecosystem management, Biodiversity and Conservation, 11: 2093-2265.
Palik, B.J., Goebel, P.C., Kirkman, K. and L. West, 2000. Using landscape hierarchies to guide restoration of disturbed ecosystems, Ecological Applications, 10(1): 189-202.
Pan, Y.D., Stevenson, R.J., Hill, B.H. and A.T. Herlihy, 2000. Ecoregions and benthic diatom assemblages in Mid-Atlantic Highlands streams, USA. J.N. Am. Benthol. Soc.

19(3): 518-540.
Perry, G.L.W. and J.D.A. Millington, 2008. Spatial modeling of succession-disturbance dynamics in forest ecosystems: concepts and examples. Perspect Plant Ecol Evol Syst 9: 191-210.
Pullar, D., Choy, S.L. and W. Rochester, 2004. Ecoregion classification using a bayesian approach and model-based clustering, In: Pahl-Wostl, C.; Schmidt, S.; Rizzoli, Andrea, Jakeman and J., Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. iEMSs 2004 - Complexity & Integrated Resources Management, Osnabruck, Germany, (927-932). 14-17 June, 2004.
Rich, P.M., R. Dubayah, W.A. Hetrick, and S.C. Saving. 1994. Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, pp 524-529.
Rich, P.M. and P. Fu. 2000. Topoclimatic habitat models. Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling.
Ritters, K. H., Wickham, J. D. and T. G. Wade, 2009. An indicator of forest dynamics using a shifting landscape mosaic. Ecological Indicators 9: 107-117.
Salmond, J. A., 1967. The Civilian Conservation Corps, 1933-1942: A New Deal Case Study. Duke University Press. USA.
Sayer, J. and Elliott C., 2005. The Role of Commercial Plantations in Forest Landscape Restoration. pp. 379-383.
Scientific Summary No 93, related to IUFRO News 8, 2012.
Shackelford, N., Hobbs, R. J., Burgar, J. M., Erickson, T. E., Fontaine, J. B., Laliberte, E., Ramalho, C. E., Perring, M. P. and R. J. Standish, 2013. Primed for change: Developing ecological restoration for the 21st centry. Restoration Ecology 21(3): 297-304.
Stanturf J.A. 2005 What is forest restoration: In Stanturf JA, Madsen P(eds) Restoration of boreal and temperate forests. CRC Press, Boca Ration, pp3-11
Tamperton, V. M., 2007. The recent double paradigm shift in restoration ecology, Restoration Ecology, 15(2): 344-347.
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.
Tian et al., 2002. Radiative transfer based scaling of LAI/FPAR retrievals from reflectance data of different resolutions. Remote Sensing of Environment, (84); 143-159.
Townshend, J. R. G., (editor), 1992, Improved Global Data for Land Applications: A Proposal for a New High Resolution Data Set. Report No. 20, International Geosphere - Biosphere Program, Stockholm, Sweden.
Trabucco, A., 2010. High-resolution global soil-water balance explicit for climate-standard vegetation and soil condition ; http://ees.kuleuven.be/
Trombetti, M., Riano, D., Rubio, M.A., Cheng, Y.B. and S.L. Ustin, 2008. Multi-temporal vegetation canopy water content retrieval and interpretation using artificial neural networks for the continental US. Remote Sensing of Environment, 112; 203-215.

Turner, M.G., 1990. Landscape changes in nine rural counties in Georgia, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56: 379-386.

SER(Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group), 2002. The SER primer on ecological restoration(accessed 2013 and available from www. ser.org).

SPB Prevention and Restoration Program, 2005. US Forest Service

United Nations Development Programme, Executive Board of the United Nations Development Programme and of the United Nations Population Fund, Second regular session, Country programmes and related matters, Draft country programme document for the Democratic People's Republic of Korea(2011-2015), 2010.

Volkoff, B., Castro Mello, F.F., Ferreira Maia, S.M. and C.E. Pellegrino Cerri, 2012. Landscape and soil regionalization in sourthern Brazilian Amazon and contiguous area: methodology and relevance for ecological studies, Scientin Agricola, 69(3): 217-225.

Wulder, M.A., Ortlepp, S.M., White, J.C., Nelson, T., Coops, N.C., 2010. A provincial and regional assessment of the mountain pine beetle epidemic in British Columbia: 1999 - 2008. J. Environ. Inform. 15, 1 - 13.

Wallington, T.J., Hobbs, R.J. and S.A. Moore, 2005. Implications of current ecological thinking for biodiversity conservation: a review of the salient issues. Ecol. Soc. 10: 15.

Whisenant S. G, 1999. Reparing damaged wildlands: a process-oriented, landscape scale approach, Cambridge University Press, Cambridge.
(Whisenant Steven Gerld; 1950-)

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.

Williams G.D.V. and J.M. Masterton, 1983. An Application of Principal Component Analysis and an Agroclimatic Resource Index to Ecological Land Classification for Alberta, Clim. Bull., 17: 3-28.

Wimberly, M.C., Boyte, S.P. and E.J. Gustafson, 2012. Understanding Landscapes through spatial modeling, (edi) Forest Landscape Restoration : Intergrating Natural and Social Sciences, World Forest 15, Springer Science, 2012.

Wright, R.G., Murray, M.P. and T. Merrill, 1998. Ecoregions as a level of ecological analysis. Biological Conservation 86:207-213.

Xi, W., Bi, H. and B. He, 2012. Forest Landscape Restoration in China. in Stanturf et al., 2012(eds). A Goal-oriented approach to forest landscape restoration. Springer. London.

Xi, W., Coulson, R. N., Waldron, J. D., Tchakerian, M. D., Lafon, C. W., Cairns, D. M., Birt, A. G. and K. D. Klepzing, 2008. Landscape Modeling for Forest Restoration Planning and Assessment: Lessons from the Southern Appalachian Mountains, forest ecology, Journal of Forest, June. 191-197.

Xu, J., Noordwijk, M., He, J., Kim, K. J., Jo, R. S., Pak, K. G., Kye, U. H., Kim, J. S., Kim, K. M., Sim, Y. N., Pak, J. U., Song, K. U., Jong, Y. S., Kim, K. C., Pang, C. J. and M. H. Ho,, 2012. Participatory agroforestry development for restoring degraded sloping land in DPR Korea. Agroforest Syst. 85: 291-303.

Yim, Y.J. and T. Kira, 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean

Peninsula; 1: Distribution of some indices of thermal climate, Japanese Journal of Ecology, 25(2): 77-88.

Zhao, M. and S.W. Running, 2010. Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production form 2000 through 2009, SCIENCE, 329:940-943.

Zhao, M., Heinsch, F.A., Nemani, R.R., and S.W. Running, 2005. Improvemnets of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set, Remote Sensing of Environment, 95: 164-176.

Zhang, X., Huang, Q. and C. Zhang, 2010. Analysis of forest landscape dynamics based on Forest Landscape Restoration: a case study of Yong'an city, Fujian province, China. Eur J Forest Res, 129: 975-980.

Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T. and J. Nieminen, 2008. Vegetation Dynamics and Forest Landscape Restoration in the upper Min River Watershed, Sichuan, China. Restoration Ecology, 16(2): 348-358.

Zhou, Y., Narumalani, S., Waltman, W.J., Waltman, S.W. and M.A. Palecki, 2003. A GIS-based spatial pattern analysis model for eco-region mapping and characterization. Int. J. Geophys. Inform. Sci. 17: 445-462.

http://cfs.nrcan.gc.ca/pages/

http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/research/environment/Matrix_Matters.pdf

http://www.fs.fed.us/restoration/CFLRP/)

http://www.fs.fed.us/rm/ecoregions/products/map-ecoregions-united-states

http://www.ideastransformlandscapes.org

http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/ecostrat/1999report/overview.htmlUNEP

www.unep.org/

http://www.unep-wcmc.org/

http://www.wri.org/

http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/

http://www.chesapeakebay.net/groups/group/principals_staff_committee

Appendix: Expert survey materials

생태지역 기반 북한 '산림경관복원' 목표 설정에 관한 설문

안녕하세요.

귀한 시간을 내어 설문에 응해 주셔서 대단히 고맙습니다.

본 설문은 북한 「산림경관복원(Forest Landscape Restoration, 이하 FLR)」에 관한 학술연구의 일환입니다. FLR이란 경관생태학+생태복원의 개념을 산림복원에 도입하여 복원의 과정에서 산림의 재화와 용역을 극대화시키는 방법론입니다. FLR을 북한 산림황폐지 복원에 적용하고자 산림 및 생태학 관련 전문가분들의 의견을 수렴하고 있습니다.

전문가 설문은 다음 3가지 목적으로 진행됩니다.

1. 제공되는 경관생태학적 정보를 기반으로 북한의 생태지역 별 복원목표를 설정하기 위함입니다.

2. 각 생태지역 별로 복원의 목표를 결정하게 된 생태적 요인의 중요도를 평가하여 비교하기 위함입니다.

3. 북한의 각 생태지역을 명명하기 위함입니다.

조사 과정에서 알게 된 정보는 통계법 제33조 「비밀의 보호」 조항에 의거하여 비밀이 보장되며, 연구목적에만 사용할 것을 약속드립니다.

협조해 주셔서 고맙습니다.

2013년 10월

연구자	유재심
소속	서울대학교 환경대학원 박사과정
연락처	E: jaeshimy@hanmail.net M: 011-215-3437

생태 지역	특 성
H	참조지역 : 남·북이 공유하는 지역으로, 서울 경기도 부근에서 경험할 수 있는 경관특성.
C	황해도 옹진군, 과일군, 장연군과 함경북도 청진시-김책시, 함경남도 단천시-홍원군 해안으로 고도 -6에서 824m, 평균199m, 평균 경사4도 이하, 평균 남동향, 연평균온도 8도, 혹서기 3개월 평균온도 20도, 혹한기 3개월 평균온도 -3도, 연평균 영하일수 114일, 연 평균 -10도 이하일수 18일, 연평균 강수량 1006mm 중 우기 3개월 617mm, 건기 3개월 평균 54mm. 토양수분지수 최저54(하)-평균80(중)으로 전국에서 가장 낮음. 산림은 낙엽활엽수림과 상록수림(소나무 류)
G	나선시, 함경남도 함흥시 주변, 황해도 벽성군, 신천군, 은천구 등 3군집으로 격리, 고도 -26-678m, 평균 77m. 연평균온도 9.6도, 혹서기 3개월 평균 29도, 혹한기 3개월 평균 -4도, 0도 이하일수 118일, -10도 이하일수 24일, 평균 남향, 경사 2-5도, 연평균 강수량 997mm 중 우기3개월 570, 건기 3개월 평균 68mm, 토양수분지수 최저66(하)-평균97(상), 식생의 최저 생산성 18(중), 평야지대로 논농사 우점, 산림은 혼효림우점
I	사방이 강원도, 함경남도, 자강도 희천시, 평안남도로 둘러싸임. 고도 3-1554m, 평균 580m. 평균 남향, 경사 0-21도 평균 6도, 연평균온도 7도 중 혹서기 3개월 평균 20도, 혹한기 3개월 평균 -9도, 연 평균 영하일수136일, -10도 이하일 수 50일, 연평균 강수량 1200mm 중 우기 3개월 평균 761mm, 건기3개월 평균 58mm, 토양수분지수 최저 74(중)-평균 97(상), 동부는 산림 서부는 농경지, 산림은 양호하고 낙엽활엽수림 우점
J	함경북도 은덕군에서 함경남도 신흥군까지 남서로 길게 뻗음. 함경산맥 우측사면. 고도 35-1555m 평균 576m. 남동향, 경사 4-19도, 연평균온도 4.3, 혹서기 3개월 17도 혹한기 3개월 평균 -10도. 영하일수 157일, -10도 이하 일수 67일, 연평균 강수량 792 중 우기 3개월 446 건기 3개월 44mm. 토양수분지수 최저73(중)-평균87(중). 식생의 생산성 18(중). 양호한 산림, 낙엽활엽수림 우점, 혼효림 혼재
K	평안북도 신의주에서 평안남도 증산군까지 해안을 따라 내려오다 내륙 황해북도 평산군까지 뻗음. 고도 -2-697m 평균 88m. 평균 남서향, 경사1-10도 평균2도, 연평균온도 9도 혹서기 3개월 22도, 혹한기 3개월 -6도. 영하일수 123일, -10도 이하 일수 35일. 연평균 강수량 967 중 우기 3개월 605mm, 건기 3개월 41mm 내림. 토양수분지수는 최저일 때 73(중)-평균 87(중간)으로 양호. 식생의 최저산성은 11(하)로 수확 후 빈들 형태. 신의주평야, 안주박천평야, 평양평야, 재령평야 등 평야지대로 주로 논농사, 산림은 패치형태 무립목지, 양호한 산림은 혼효림
L	평안북도 영변, 향산에서 평양까지, 평안북도와 자강도 경계. 고도 4-647m, 평균 177m. 평균 남향, 평균 경사 3도, 연평균 온도는 8도로 혹서기 3개월 평균22도, 혹한기 3개월 평균은 -7도. 영하일수 135일, -10도 이하일 수 47일. 연평균 강수량 1061로 우기 3개월 평균은 678, 건기 3개월 평균은 13mm. 토양수분지수 최저 66(하)-평균88(중)이고, 식생의 최저 생산성은 15(하). 평양평야-안주박천 평야. 논농사와 밭농사 혼작. 산림성상 혼효림
M	평안북도 경계와 자강도 초산군, 전천군 사이에 한 군집과 함경북도 온성과 샛별군에 한 군집이 지리적으로 격리, 고도 23-2457m 평균 525m. 평균 남향, 평균경사 4도, 연평균온도 5도 중 혹서기 3개월 평균 20도, 혹한기 3개월 평균 -11도. 0도 이하일수 140일, -10도 이하 일수 58일. 연평균 강수량 949 중 우기 3개월 587, 건기 3개월 38mm 내림. 토양수분지수 최저 69(하)-평균 86(중)으로 비교적 양호. 식생의 최저 생산성 18(중). 산림지대로 상록침엽수림과 혼효림
N	백두산, 백무고원과 개마고원의 관모봉과 북수백산. 고도 371-2589m 평균 1453m. 평균 남향, 경사 0-22도 평균 4도. 연평균기온 0도, 혹서기 3개월 14도 혹한기 3개월 -16도. 평균 영하일수 198일, 일최저기온 -10도 이하일수 평균 120일, 연 평균강수량 936 중 우기 3개월 556, 건기 3개월 47mm. 토양수분지수 최저86(상)-평균(95)로 북한에서 가장 양호. 식생의 최저생산성 21(중)로 북한에서 가장 양호하나 남한 보다 낮음. 상록침엽수림과 낙엽침엽수림
O	양강도 삼지연에서 자강도 중부내륙까지, 오가산과 낭림산맥 양쪽사면, 고도 161-1855m 평균 930m. 평균 남서향, 경사도0-18도 평균 6도. 연평균온도 3도 혹서기 3개월 평균 18도, 혹한기 3개월 평균 -15도. 평균영하일수 166일, -10도 이하일수 평균 96일, 토양수분지수 최저 72(중)-평균89(중)으로 양호. 식생의 최소 생산성 19(중)으로 양호.

* 기온 ℃/강수량mm(기후자료 : 1950 -2000년 평균과 1981-2010년 평균).
* 식물의 생산성은 fPAR(Fraction of Photosynthetically Active Radiation) 추정 값
* 상·중·하 범위는 한반도 전체 기준

설문 1. 산림경관복원 목표(안)에 대한 전문가 설문

1-1. 귀하는 북한 산림경관복원에 어느 정도 관심을 가지고 있습니까?

①매우	②많이있음	③조금있음	④보통	⑤조금없음	⑥많이없음	⑦전혀

1-2. 다음의 복원모델 중 귀하가 선호하는 모델을 두 가지만 체크(∨)해 주세요.

복원모델	복원 목표	
①생태관광림	미래 산림 생태관광을 고려하여 복원 설계 및 조성	
②보전림	자생종 및 멸종위기종 보호를 목적으로 설계 및 조성	
③용재림	미래 목재 수급을 목표로 산림복원	
④기후변화모델	REDD등 기후변화 메카니즘 적용(경제적 측면)	
⑤산림농업모델	산지의 경작 및 이용을 고려하여 설계 및 조성	
⑥생물다양성림	복원초기에 서식지를 고려하여 설계 및 조성	
⑦ 기타	간략서술	

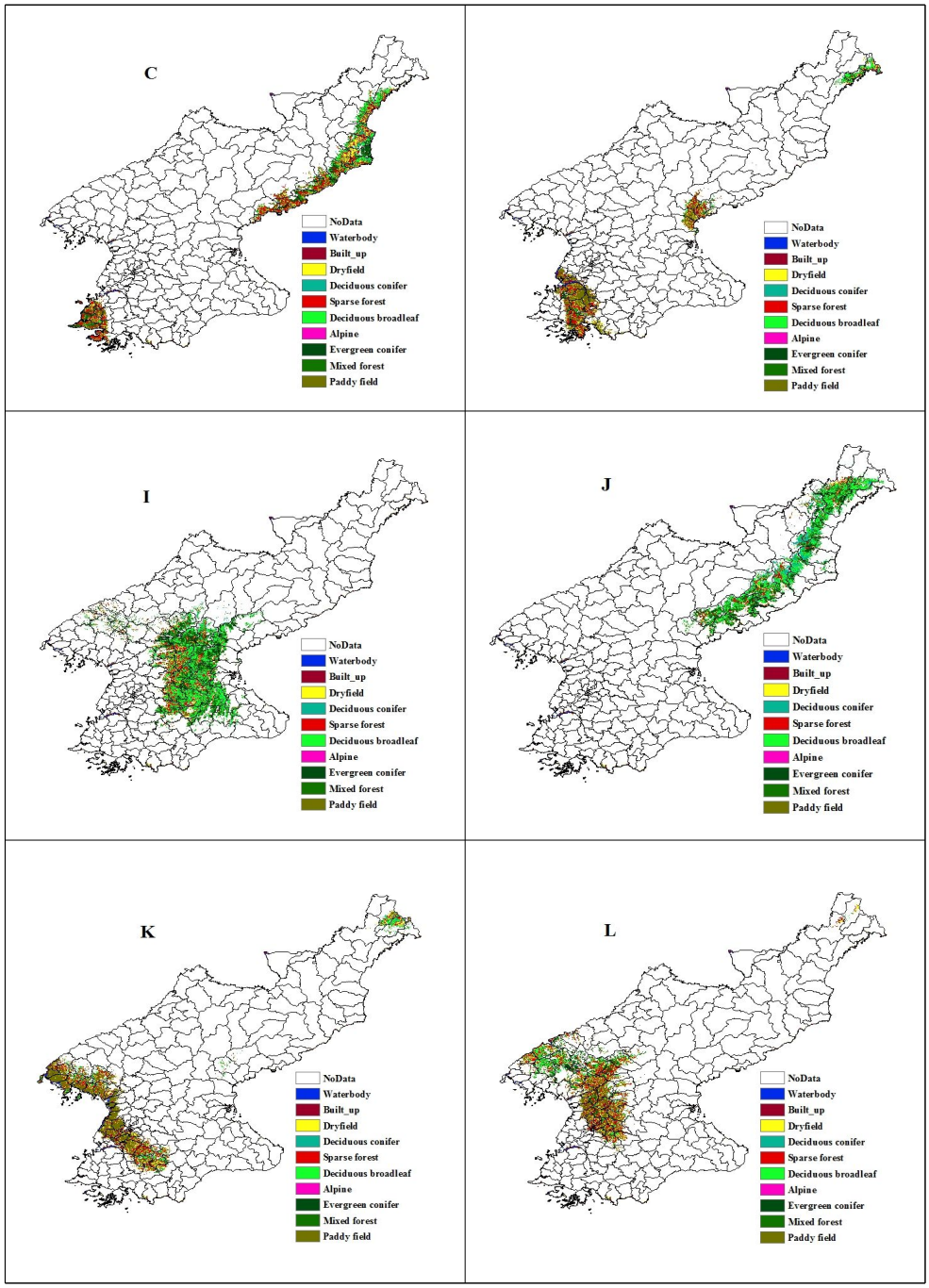
( )

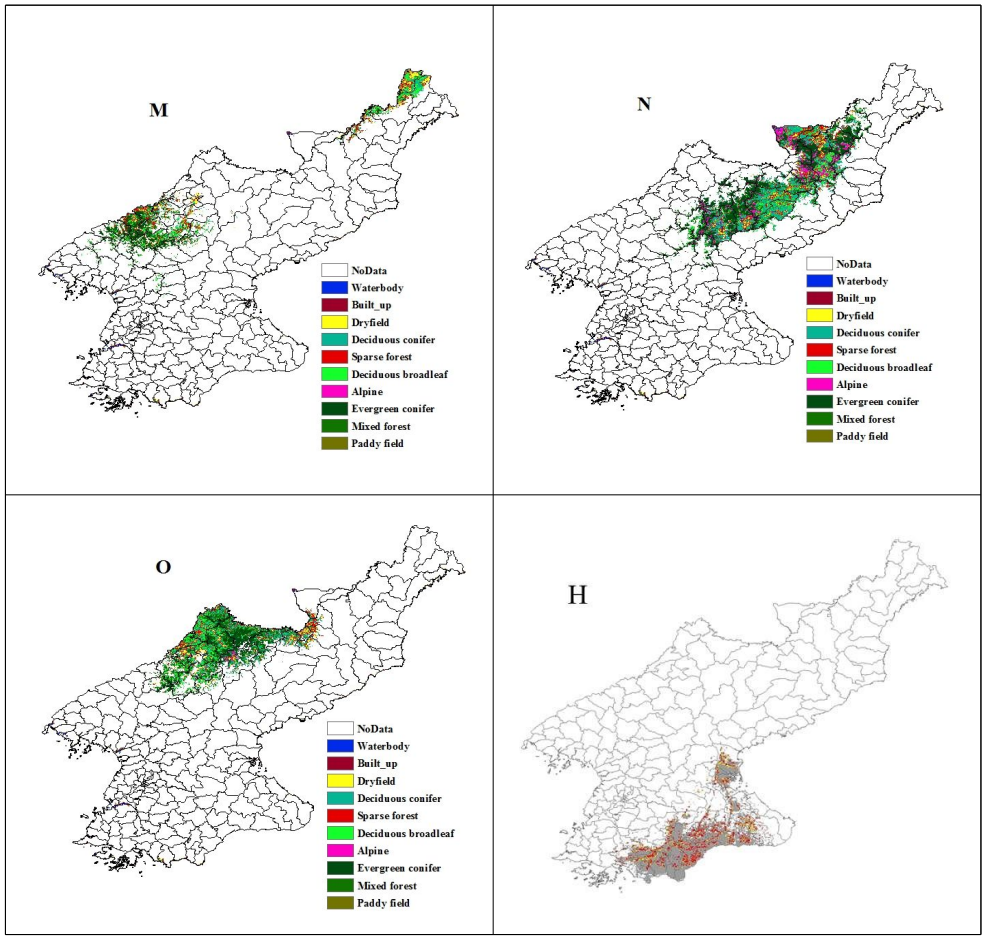
1-3. p2~p4의 생태지역도와 생태요인을 참고하시어 각 생태지역 특성에 적합한 복원방법에 체크하고 추천수종을 2 종 씩 적어주세요(예시 참조).

모델명	H(예)	C	G	I	J	K	L	M	N	O
①생태관광모델										
②보전림모델	∨									
③용재림모델										
④기후변화모델										
⑤산림농업모델	∨									
⑥생물다양성림										
⑦기타(선택 경우)										
추천수종 (2가지)	신갈 소나무									

1-4. 응답자 기본정보에 관한 사항

성별	①남		②여	
전공	①산림		②비산림	
연령	①40 미만	②40-50	③50-60	④60이상
종사기간	①10년 미만	②10-20년	③20-30년	④30년이상
방북경험	①예		②아니오	


C
NoData
Waterbody
Built_up
Dryfield
Deciduous conifer
Sparse forest
Deciduous broadleaf
Alpine
Evergreen conifer
Mixed forest
Paddy field
I
J
K
L


M
NoData
Waterbody
Built_up
Dryfield
Deciduous conifer
Sparse forest
Deciduous broadleaf
Alpine
Evergreen conifer
Mixed forest
Paddy field
N
NoData
Waterbody
Built_up
Dryfield
Deciduous conifer
Sparse forest
Deciduous broadleaf
Alpine
Evergreen conifer
Mixed forest
Paddy field
O
NoData
Waterbody
Built_up
Dryfield
Deciduous conifer
Sparse forest
Deciduous broadleaf
Alpine
Evergreen conifer
Mixed forest
Paddy field
H

Appendix 1. 제2장 기본이론 연구

AX1_Table 1. Variables which used to existing ecoregion studies(p13)

Source	Objectives	Variables								
		Land cover	Product	Water	Soil	Snow	SR	Prec	Temp	DEM
Williams and Masterton, 1983	if existing ecoregions are climatically distinct and to explore technique of incorporating climate							p_nomals	monthly mean	
Bailey, 1984	to rest the hydrologic productivity is different among regions			monthly runoff value						
Davis and Goets, 1990	to predict the distribution of natural vegetation distribution of reference ecosystem in the landscape	LandsatTM forest cover		TWI						elev. slope aspect
Palik, et al., 2000	to map the restoration related vegetation distribution of reference ecosystem in the landscape		overstory species		drainage texture		monthly SR			elev. slope
Pullar et al., 2004	to define ecoregion in a scientifically way and obtain geographical descriptions for bioregions							annual prec.	min. the coldest month	cartogr-aphy
Hargrove and Hoffman, 2005	to map quantitative multivariate clustering with 1km spatial resolution into 3000 district ecoregions		plant-available water capacity/ depth to seasonally water table		soil organic matter/ nitrogen		growing season mean SR	growing season mean Prec.	degree day heat/cold sum	elev.
Coops et al., 2009	to explore and understand the uniqueness of the regionalizations as a context for Canada wide ecological and biodiversity monitoring purpose	AVHRR land cover	f{AR monthly/ annual							90m radar (COV)
Farmer et al., 2010	to delineate geographically distinct winter based management zones and identification snow cover regimes					SWE*1				
Fitterer et al., 2012	to integrate remotely sensed datasets into homogeneous ecosystem unit for conservation planning and monitoring	MODI|S land cover	fPAR cov/max	TWI(DEM based soil moisture)		Snow change	annual SR			elev.
Andrew et al., 2013	to define and characterize ecosystem classification along summertime productivity, winter snow conditions, and the combination of the two	DHI				SWE*2				

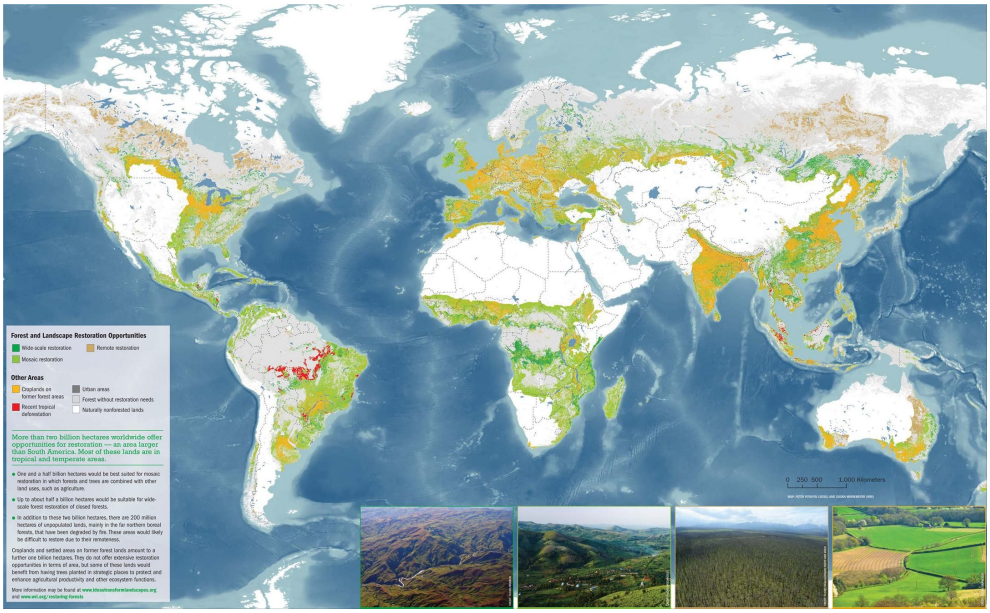
Appendix 1. 제2장 기본이론 연구

AX1_Table 2. Ecological restoration zones in China(Cai et al., 2004)(p 21)

Code	Ecological restoration zones	Ecological restoration sub-zones	Annual precipitation (mm)	Aridity index	Climate zone
I	Chang Bai Mountains Southeast China Humid Zone	Chang Bai Mountainous Zone Northern Yangtze river mountain zone Southern Yangtze river red soil zone	> 800	<1.0	Humid zone
II	North China-Northeast China-eastern Qinghai-Tibet Plateau Semi-Humid Zone	Jing-Ha Black Soil Zone Nerthern Mountainous Zone Southern Tai-Land Loess Plateau Southwest China Mountains	500-600	1.5	Semi-humid
III	Inner Mongolia Plateau-Loess Plateau-Qinghai-Tibet Plateau Semi-arid Zone	Inner Mongolia Plateau Qinghai-Tibet Plateau Inland Plain Zone Grassland Zone Desert Zone	< 400	2.0	Semi-arid
IV	Xingjiang-Inner Mongolia, Northwestern desert arid land of Tibetan Plateau Zone	Inner Mongolia Plateau Northern Tai-Lan Loess Plateau Qinghai-Tibet Plateau Inland Plain Zone Grassland Zone Desert Zone	< 200	>2.0	Arid

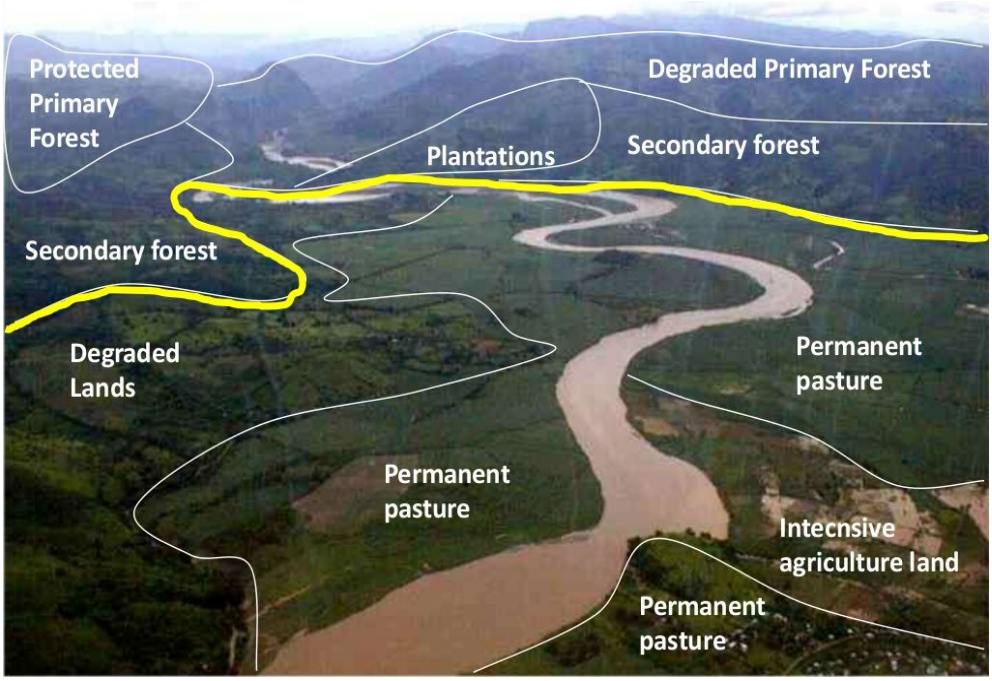
Appendix 1. 제2장 기본이론

AX1_Figure 1. Global landscape of opportunity map(Source: BONN Challenge, 2011)(p24)



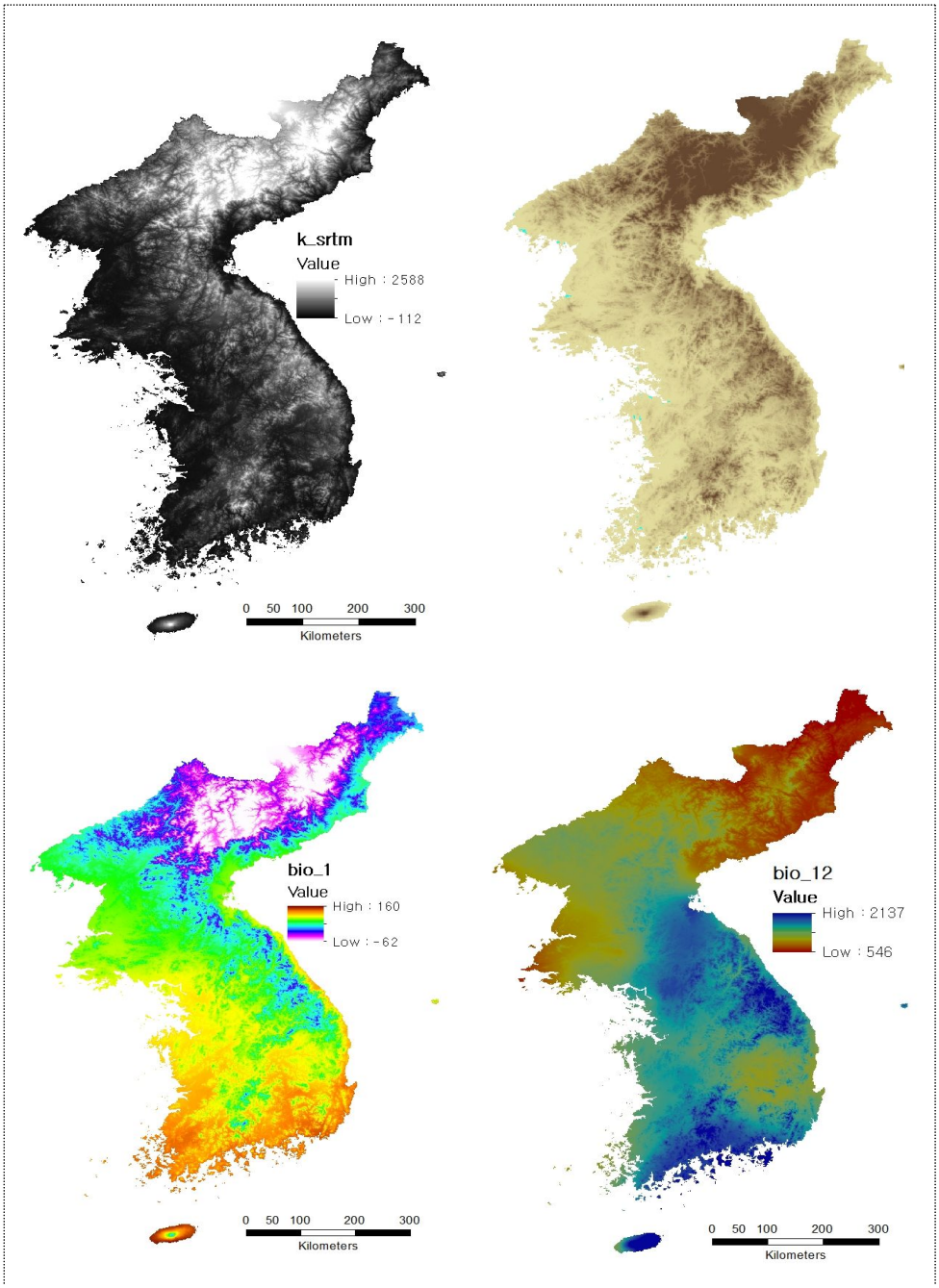
Appendix 1. 제2장 기본이론 연구

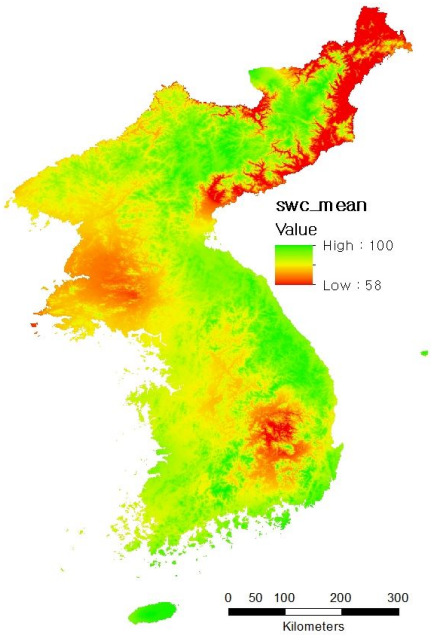
AX1_Figure 2. Landscape mosaic analysis(source: WRI, www.wri.org/)(p25)

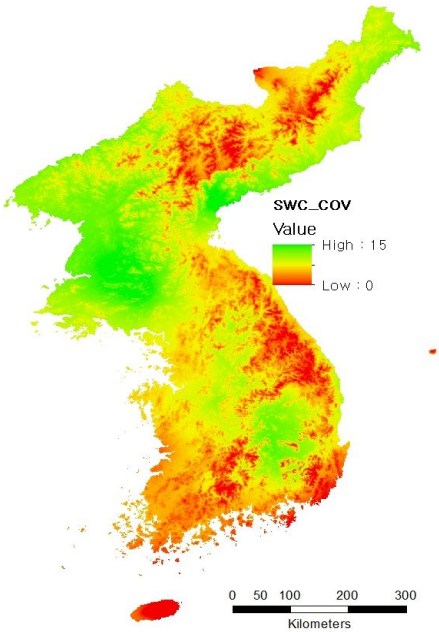


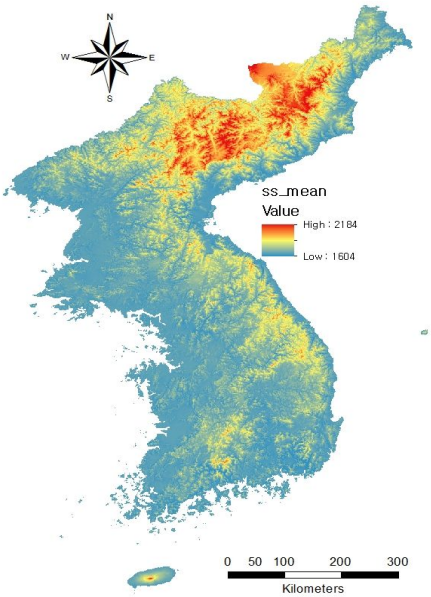
Appendix 2. 제3장 재료 및 방법

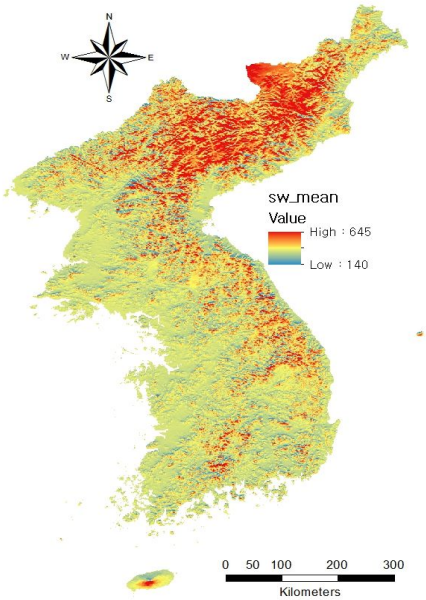
AX2_Figure 1. Spatial variables used to classify eco-region of Korea(p 36)

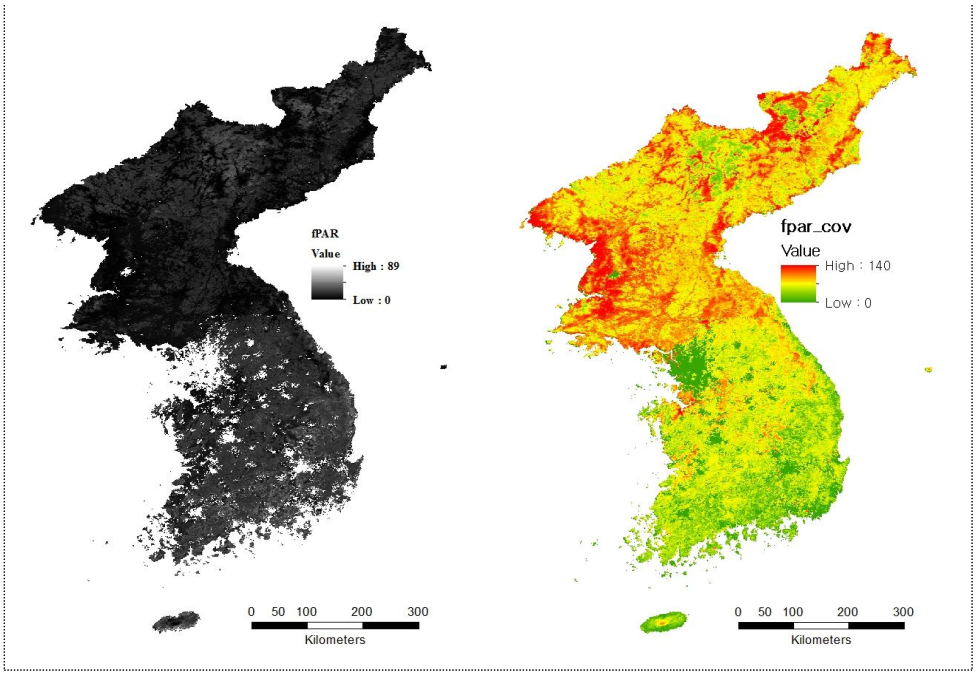



swc_mean
Value
High : 100
Low : 58
0 50 100 200 300
Kilometers


swc_cov
Value
High : 15
Low : 0
0 50 100 200 300
Kilometers


N
W
E
S
ss_mean
Value
High : 2184
Low : 1604
0 50 100 200 300
Kilometers

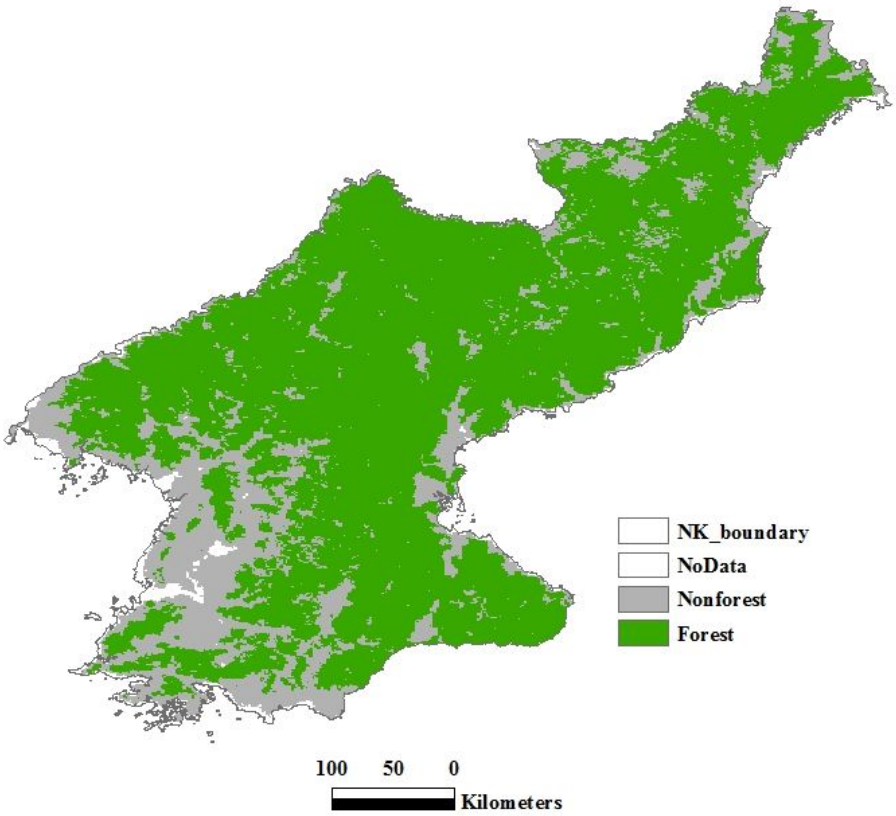

N
W
E
S
sw_mean
Value
High : 645
Low : 140
0 50 100 200 300
Kilometers



From upper left to right, the SRTM DEM, Bio1 and bio12, mean value of SWC and COV of SWC, Summer solstice insolation mean and Winter solstice insolation mean, fPAR_max and fPAR_cov.

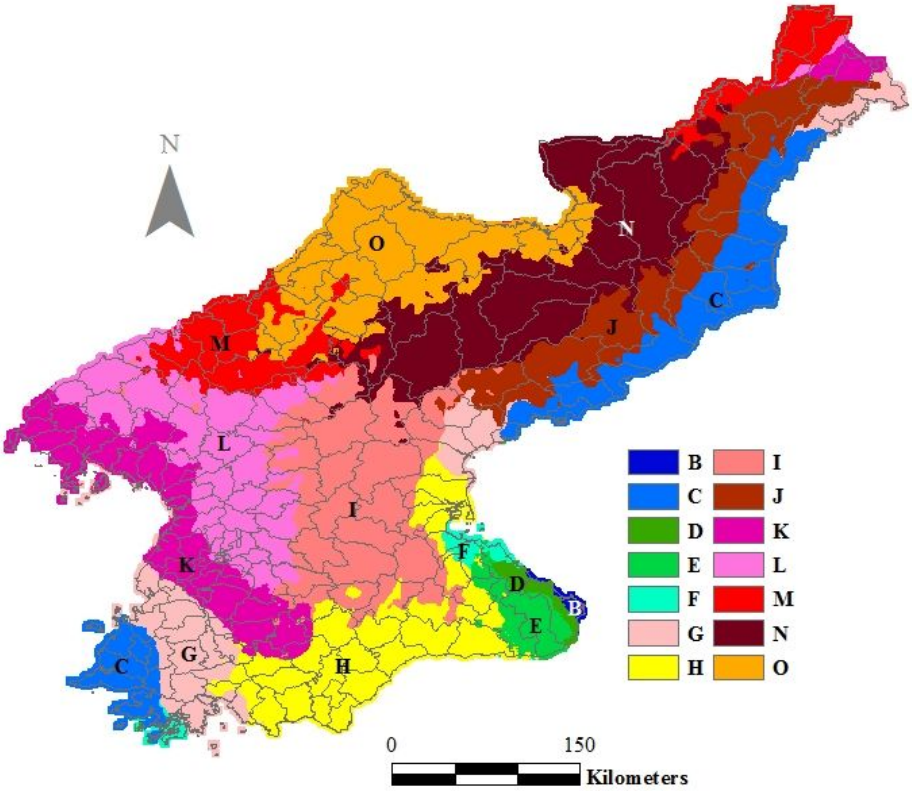
Appendix 2. 제3장 재료 및 방법

AX2_Figure 2. AVHRR forest map of North Korea in 1989(p 43)



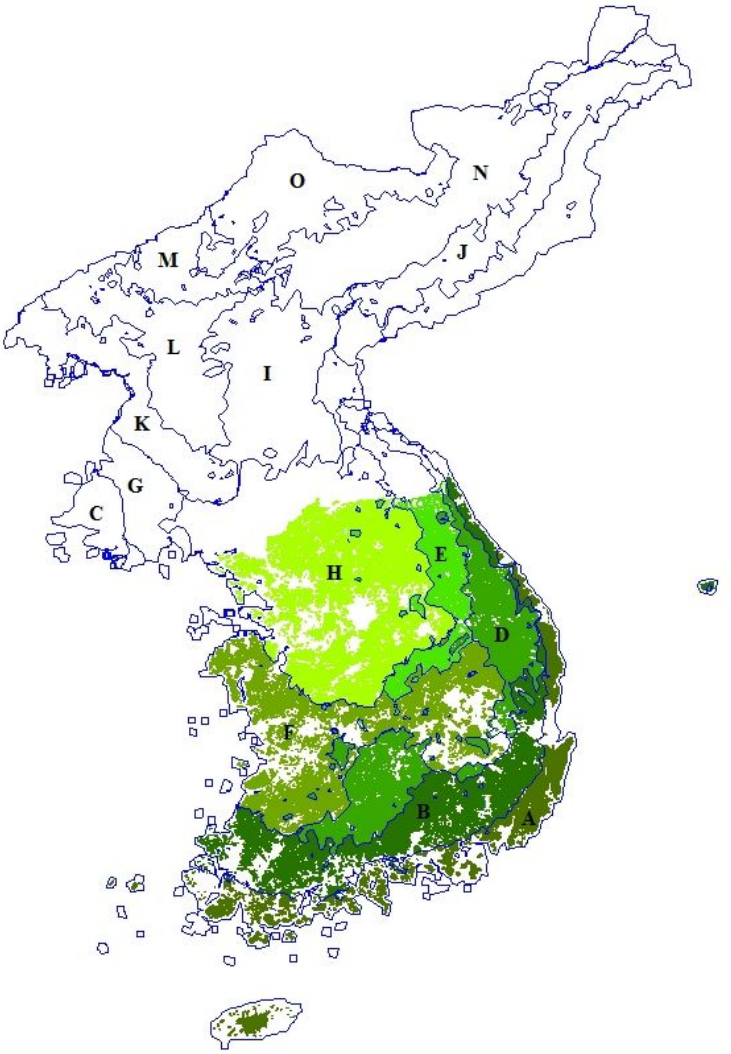
Appendix 2. 제3장 재료 및 방법

AX2_Figure 3. Ecological region overlaying administration area of North Korea(p 44)



Appendix 2. 제3장 재료 및 방법

AX2_Figure 4. Ecological region overlaying actual vegetation of S. Korea(p 48/69)



Appendix 2. 제3장 재료 및 방법

AX2_Table 1. Climate variable coding(hppt://www.worldclim.org/)(p 38)

BIO1	Annual Mean Temperature
BIO2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO5	Max Temperature of Warmest Month
BIO6	Min Temperature of Coldest Month
BIO7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO8	Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9	Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10	Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11	Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12	Annual Precipitation
BIO13	Precipitation of Wettest Month
BIO14	Precipitation of Driest Month
BIO15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16	Precipitation of Wettest Quarter
BIO17	Precipitation of Driest Quarter
BIO18	Precipitation of Warmest Quarter
BIO19	Precipitation of Coldest Quarter

tmean = average monthly mean temperature (°C * 10)
tmin = average monthly minimum temperature (°C * 10)
tmax = average monthly maximum temperature (°C * 10)
prec = average monthly precipitation (mm)
bio = bioclimatic variables derived from the tmean, tmin, tmax and prec
alt = altitude (elevation above sea level) (m) (from SRTM)
m = month of the year, from 1 (January) to 12 (December)
x = code for the bioclimatic variable

“tmean<m>_<r>.ext
tmin<m>_<r>.ext
tmax<m>_<r>.ext
prec<m>_<r>.ext
bio<x>_<r>.ext
alt_<r>.ext”

ext = filename extension (for the Generic grids only), either BIL (with the binary data), or HDR (text files that describe the data, for import to GIS applications). In case of ESRI grids, these filenames are in fact folder names, and also include one "info" folder.

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Table 1. Dunnett T3 post hoc pair wise comparison for unequal variance assumed(p61/65)

Eco region	Variable	Region	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
E5	alt	B and C	0.9	1.3	1.0	-2.3	4.1
E6	alt	B and C	-2.1	1.3	0.8	-5.4	1.3
	ss_mean	B and C	0.0	0.2	1.0	-0.6	0.6
		B and E	0.0	0.2	1.0	-0.7	0.6
E7	bio11	C and D	0.0	0.1	1.0	-0.5	0.5
	bio13	G and B	-0.4	0.3	1.0	-1.5	0.7
	bio16	B and G	0.1	0.7	1.0	-2.2	2.4
	fpar_min	B and D	-0.3	0.4	1.0	-1.4	0.7
E8	swc_mean	A and C	0.0	0.0	1.0	-0.2	0.1
E11	alt	A and H	-2.4	1.5	1.0	-7.4	2.6
	bio6	J and K	0.4	0.2	0.3	-0.1	1.0
	bio11	E and F	0.1	0.2	1.0	-0.5	0.6
	bio12	A and D	-2.4	1.6	1.0	-7.8	3.0
		E and K	2.1	1.3	1.0	-2.3	6.6
	bio14	G and H	-0.1	0.0	1.0	-0.2	0.1
	fpar_min	G and J	0.1	0.1	1.0	-0.3	0.5
	sw_mean	A and B	0.8	0.2	0.1	-0.1	1.7
		A and C	0.7	0.2	0.1	0.0	1.4
		A and E	0.5	0.2	0.9	-0.3	1.3
		B and C	-0.1	0.2	1.0	-0.8	0.6
		B and E	-0.3	0.2	1.0	-1.1	0.5
		B and H	0.6	0.2	0.2	-0.1	1.3
		C and E	-0.2	0.2	1.0	-0.8	0.4
		G and K	0.0	0.5	1.0	-1.8	1.8
E15	bio1	D and G	0.1	0.2	1.0	-0.6	0.7
	bio5	C and E	-0.4	0.2	1.0	-1.0	0.3
	bio6	C and H	0.5	0.2	0.9	-0.3	1.3
	bio12	D and E	-0.9	1.2	1.0	-4.5	4.4
	bio15	H and O	-0.1	0.0	0.9	-0.2	0.1
	bio16	A and F	2.7	0.9	0.4	-0.6	6.0
	bio17	K and O	0.0	0.1	1.0	-0.3	0.2
	swc_max	D and E	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
		E and H	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
		E and I	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
		G and K	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
	swc_min	C and K	0.2	0.1	0.2	0.0	0.3
		E and N	0.0	0.1	1.0	-0.2	0.3
	swc_mean	A and N	0.0	0.0	1.0	-0.1	0.1
	fpar_min	B and F	0.0	0.6	1.0	-2.3	2.4

	C and I	0.3	0.3	1.0	-0.9	1.5
	C and O	-0.2	0.4	1.0	-1.5	1.0
	G and N	0.8	0.5	1.0	-1.0	2.5
	H and B	-1.3	0.6	1.0	-3.4	0.9
ss_mean	M and D	0.8	0.5	1.0	-1.0	2.5
sw_mean	D and M	0.3	0.5	1.0	-1.4	1.9
	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
	J and O	0.2	0.5	1.0	-1.8	2.1

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Table 2. Variable mean value of 15 eco-region and descriptive statistics of Korea(p 65)

Variables	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	K max	Kmean	K min	K median	K stdev
Elevation	144	185	190	614	596	160	117	211	624	830	128	228	591	1442	975	1442	437	117	228	390
Annual mean temperature	135	126	81	92	80	118	100	102	64	37	89	81	51	1	24	135	80	1	81	38
Max temp. of warmest month	287	291	255	266	255	294	281	285	256	227	278	277	254	206	241	294	265	206	266	25
Min temp. of coldest month	-26	-53	-108	-93	-126	-73	-103	-113	-173	-180	-134	-156	-197	-232	-238	-26	-131	-238	-126	62
Temp. annual range	313	344	364	359	381	367	384	398	429	407	412	432	451	438	479	479	396	313	398	44
Mean temp. of warmest quarter	235	233	197	209	200	235	223	227	196	166	221	219	193	142	175	235	206	142	209	27
Mean temp. of coldest quarter	29	9	-43	-27	-55	-8	-35	-38	-88	-107	-60	-75	-113	-155	-150	29	-59	-155	-55	54
Annual precipitation	1379	1328	783	1419	1414	1218	1060	1334	1244	809	993	1072	992	936	909	1419	1103	783	1072	221
Prec. of wettest month	238	260	177	305	337	275	281	376	346	183	288	308	262	218	225	376	266	177	275	58
Prec. of coldest month	33	28	16	32	29	27	18	21	19	13	12	13	12	14	12	33	20	12	18	8
Prec. Seasonality	60	69	78	75	85	77	91	96	101	83	101	104	98	88	93	104	87	60	88	13
Prec. of wettest quarter	653	683	426	765	818	663	626	815	791	457	623	685	616	557	559	818	634	426	653	119
Prec. of coldest quarter	128	106	55	116	96	94	60	72	62	45	42	45	41	47	40	128	68	40	60	30
Soil water contents_max	100	100	90	100	100	100	98	100	100	95	98	99	96	99	97	100	98	90	99	3
Soil water contents_min	89	84	65	88	86	76	70	75	77	74	65	67	72	86	76	89	76	65	76	8
Soil water contents_mean	96	92	81	96	96	90	86	90	93	89	86	88	89	96	91	96	90	81	90	4
Soil water contents_cov	4	6	10	4	5	8	10	8	8	8	12	11	9	4	7	12	8	4	8	3
fPAR_min	99	59	17	40	22	59	40	62	18	22	14	17	20	22	18	100	34	14	22	25
fPAR_cov	99	82	48	69	57	83	65	88	55	56	41	47	53	53	52	100	63	41	56	17
Summer solar radiation	1721	1724	1725	1792	1790	1723	1718	1730	1791	1830	1721	1732	1788	1949	1857	1949	1768	1718	1732	66
Winter solar radiation	339	336	342	360	359	336	336	339	362	380	336	339	357	419	378	419	352	336	342	23

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX2_Table 3. % area of Level 2 type land class of eco-region(E15) in North Korea(p 85)

Land use land cover class	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Water body	2.30	1.19	0.18	0.55	5.32	1.91	0.47	0.08	0.01	1.47	0.67	0.24	0.33	0.33
Built-up	4.60	3.61	0.62	0.99	6.87	5.74	2.04	0.84	0.54	4.81	4.97	1.34	0.78	0.72
Dry field	18.77	13.57	4.01	3.15	21.15	13.16	14.17	3.80	2.31	12.87	13.47	9.40	3.34	6.42
Deciduous conifer	0.77	3.36	1.25	8.39	0.33	0.48	1.45	5.49	14.58	0.72	0.63	8.98	20.59	19.02
Sparse forest	44.44	25.98	17.48	11.37	33.89	21.20	25.29	14.33	8.38	21.07	25.40	15.91	7.37	10.75
Deciduous broadleaf	15.71	16.25	25.42	45.00	9.75	9.98	26.28	37.14	37.91	12.78	17.02	20.28	14.07	15.45
Alpine forest	0.00	0.02	0.00	0.12	0.00	0.03	0.01	0.09	0.25	0.01	0.01	0.13	11.83	1.49
Evergreen conifer	1.15	9.78	12.22	8.34	1.33	3.68	1.98	12.45	13.26	1.06	6.23	18.45	31.55	23.24
Mixed forest	11.49	14.03	38.45	21.28	10.63	8.87	16.66	24.06	21.57	5.88	12.96	22.97	8.67	21.63
Paddy field	0.77	12.20	0.36	0.82	10.74	34.95	11.67	1.72	1.19	39.32	18.65	2.29	1.47	0.96
Total(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Table 4. Ranked ecological factors accordance with dominant, subdominant, and 3rd dominant existing land use land cover in North Korea. Parentheses of class ranks mean opposite operation of array ranks. Variable ranks were created by Jenks natural breaks(p 85)

Region	% area	Variable mean estimated comparison with Korea mean																				Dominant LULC	2nd dominant LULC	3rd dominant LULC
		alt	bio1	bio4	bio5	bio6	bio7	bio 10	bio 11	bio 12	bio 13	bio 14	bio 15	bio 16	bio 17	swcm ax	swcm in	swcm n	swc cov	fpar min	ss mn			
A	5	(low)	high	(low)	high		(low)	high	high			high	(low)		high									
B	8	(low)	high	low	high	high	(low)	high	high			(med)	low		(high)			(high)				Sparse forest	Dry field	Mixed forest
C	4	(low)			med	med		med	med	low	low		med	low		med		med			(low)	Sparse forest	Deciduous broadleaf	Mixed forest
D	8		(high)		(med)	(high)		(med)	(high)	high	med	high		high								Mixed forest	Deciduous broadleaf	Sparse forest
E	4	med	(med)	med	(med)	(med)		(med)	(med)	high			med	high			high	high	(low)		med	Deciduous broadleaf	Mixed forest	Sparse forest
F	10		high		med			high		med		med			med		med	med	(med)			Sparse forest	Dry field	Paddy field
G	3		high		high			high		low	med			med	low	high			high	low		Paddy field	Sparse forest	Dry field
H	16	(low)	low		high			high				med	(high)		med							Deciduous broadleaf	Sparse forest	Mixed forest
I	8	(med)	med		med			med	med	med	high			high	low		(med)	(med)	med		(high)	Deciduous broadleaf	Mixed forest	Sparse forest
J	5	(med)	low		low			low	low	low	low			low		high	(med)		med		(med)	Deciduous broadleaf	Mixed forest	Deciduous conifer
K	5									med	med	low	high	med	low	high				low		Paddy field	Sparse forest	Dry field
L	6	low	med		high			high	med	med	med	low		med	low	high			high			Sparse forest	Paddy field	Dry field
M	4	(med)	med						low	low	med	low	high	high	low	med		med			(med)	Mixed forest	Deciduous broadleaf	Evergreen conifer
N	9	(high)	low					low	low	low	low				low						(high)	Evergreen conifer	Deciduous conifer	Deciduous broadleaf
O	6	(med)	low		med			med	low	low	low		high	low	low				med		(high)	Evergreen conifer	Mixed forest	Deciduous conifer

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Table 5. Level 3 type forest distribution(%) accordance with ecological region in North Korea(p 85)

Level 2	Level 3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Deciduous conifer	Larix spp.	100	68	71	27	67	24	37	100	36	10	49	53	66	86
	Larix_Betula spp.	0	32	29	73	33	76	63	0	64	90	51	47	34	14
Deciduous broadleaf	Betula spp.	0	0	0	1	0	0	0	1	4	2	0	3	67	9
	Quercus spp.	56	70	71	89	40	70	62	82	87	53	59	97	29	86
	Miscellaneous woods	44	30	29	10	60	30	38	18	10	46	41	0	3	5
Mixed forest	Boreal pine+Betula spp	0	10	2	4	0	1	0	100	20	0	1	16	69	59
	Pinus+Quercus spp.	100	90	98	96	100	99	100	0	80	100	99	84	31	41
Evergreen conifer	Boreal pine	0	14	7	1	8	8	1	21	12	8	3	0	86	54
	Pinus_Quercus spp.	33	48	72	92	67	63	76	0	61	58	68	63	9	30
	Pinus spp.	67	37	20	7	25	29	22	79	26	34	29	37	5	16
Sparse	Clear cutting	0	5	0	5	1	1	2	4	6	1	1	24	69	76
	Shrubby	41	37	46	50	44	39	46	49	42	50	45	54	9	12
	Bare rocks	25	7	22	12	16	5	13	11	11	0	13	10	5	4
	Herbaceous baresoil	26	34	20	28	30	38	36	32	28	43	35	0	13	6
	Evergreen coniferous baresoil	9	17	11	5	9	17	3	4	13	6	7	12	4	2
Alpine	Alpine evergreen shrubby	0	100	0	0	0	33	98	100	81	0	100	81	65	68
	Alpine grass	0	0	0	100	0	67	2	0	19	100	0	19	35	33

Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Table 6. The afforestation species recommended from administration area of forest management district in forest management area on ecological region in North Korea(established based on Forest Publications, 1998. forest management district revised up to data(p 52/86))

Forest Climate	산림경영 지대	산림경영지구	해당 시·군	Ecoregion	Dominant vegetation	Species recommended afforestation	Remark
아한대	제1지대	1	양강도 삼지연군, 대홍단군	N	이깔나무림, 삼송림+낙엽활엽수림	이깔나무, 보천소나무, 봇나무	
		2	함경북도 무산군, 연사군	N	삼송림, 삼송림+낙엽활엽수림, 이깔나무림, 소나무림, 참나무림	이깔나무, 창성이깔나무, 보천소나무, 가문비나무, 황칠나무, 좁은잎 황칠나무, 봇나무	
		3	양강도 운흥군, 보천군, 백암군	N	삼송림, 삼송림+낙엽활엽수림	이깔나무, 삼송류, 보천소나무, 사스래나무, 봇나무, 황칠나무	
		4	양강도 혜산시, 갑산군, 삼수군, 김정숙군, 김형직군	O	삼송림+낙엽활엽수림, 삼송림, 이깔나무림, 소나무림, 참나무림	삼송류, 창성이깔나무, 이딸나무, 보천소나무, 소나무, 잣나무, 피나무, 두릅나무	
		5	양강도 김형권군, 풍서군. 함경남도 장진군, 부전군. 자강도 랑림군	N	삼송림, 삼송림+낙엽활엽수림, 이깔나무림	창성이깔나무, 삼송류, 이깔나무, 짧은잎소나무, 봇나무, 황철나무	저수지보호림
		6	자강도 화평군, 장강군, 성간군, 전천군, 룡림군. 함경남도 요덕군. 평안남도 대흥군	O	소나무림, 참나무림	창성이깔나무, 잣나무, 소나무, 짧은잎소나무, 맹산검은소나무, 삼송류, 주목, 피나무, 고로쇠나무, 다릅나무, 황경피나무	소나무림 생산성이 높은 지역 임
온대 북부	제2지대	1	함경북도 온성군, 새별군, 은덕군, 회령시	M	참나무림, 소나무림, 낙엽활엽수혼효림	창성이깔나무, 잣나무, 소나무, 짧은잎소나무, 신갈나무, 백살구나무, 좁은잎 황칠나무	창성이깔나무,잣나무,소나무,짧은잎소나무,신갈나무, 백살구나무,좁은잎황칠나무
		2	함경북도 라진-선봉시, 청진시	I	산림피복 낮음, 잡목림	침엽수, 낙엽활엽수	일반 건설용재와 땔나무 수요 높은 곳
		3	함경북도 경성군, 화성군, 어랑군, 명천군, 길주군 ,화대군, 김책시	J_C	산림피복 낮음	창성이깔나무, 평양포플러, 소나무, 잣나무, 신갈나무	일반용재, 섬유재, 갱목수요 높은 지역
		4	함경남도 단천시, 허천군, 덕성군,	J_C	소나무림,	창성이깔나무, 소나무, 잣나무, 신갈나무,	용재림, 갱목림, 땔나무림

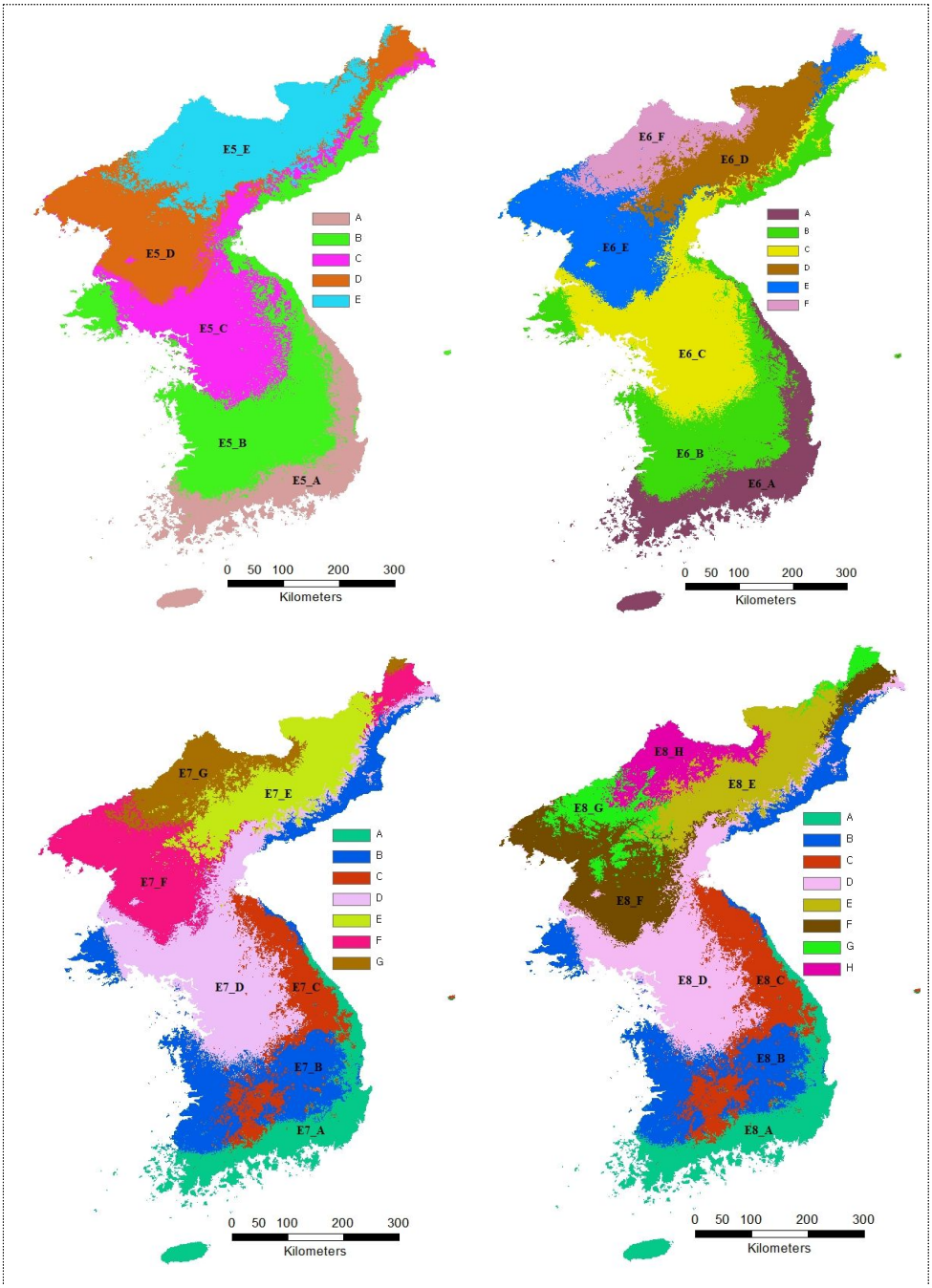
			신흥군, 영광군		소나무림+참나무림, 참나무림	피나무, 쪽가래나무, 아카시나무	조성추천
		5	함경남도 함주군, 정평군, 리원군, 북청군, 신포시, 홍원군, 락원군. 함흥시 구역	C	소나무림, 참나무림, 이갈나무림, 인공림	창성이깔나무, 소나무, 잣나무, 세잎소나무, 아카시나무, 쪽가래나무, 밤나무, 신갈나무, 평양포풀러	땔나무, 수원함양림, 해안풍치림, 사방림 등 지방자재 수요림
		6	함경남도 금야군, 고원군, 수동구. 강원도 천내군, 문천시, 원산시, 안변군, 고산군	H	소나무림, 소나무림+참나무림, 참나무림, 창성이깔나무와잣나무 인공림	소나무, 참나무, 아카시나무, 창성이깔나무, 밤나무, 초피나무, 분지나무, 오리나무, 호두나무, 참나무류	갱목림, 용재림, 땔나무림 조성
		7	강원도 통천군, 고성군	D	소나무림, 참나무림, 혼효림	창성이깔나무, 잣나무, 소나무, 아카시나무, 밤나무, 참대나무	관광림, 참대류 적지, 소나무 생산성 낮음
온대 북부	제3지대	1	자강도 중강군, 자성군	O	참나무림, 피나무림, 낙엽활엽혼효림	창성이깔나무, 잣나무, 주목, 피나무, 느릅나무, 황경피나무, 황철나무, 가래나무	면적 대비 산림자원 풍부, 국경 연안림 보호
		2	자강도 만포시, 시중군, 강계시, 위인군, 초산군, 우시군. 평안북도 벽동군, 창성군, 삭주군	O_M	소나무림, 소나무+참나무 혼효림, 참나무림	소나무, 참나무, 연료림과	급경사지
		3	자강도 고풍군, 승원군, 동선군, 희천시. 평안북도 향산군, 구장군, 운산군, 동창군, 태천군, 대관군, 구성시, 천마군	M_L_I	소나무림, 소나무+참나무혼효림, 참나무림	3지대 2지구와 같음	서부 목재 생산기지로 산림자원이 비교적 풍부하나 생산성과 품질이 낮음
		4	평안남도 영원군, 맹산군, 덕천시, 개천시, 북창군, 신양군, 성천군, 양덕군, 회창군. 황해북도 신평군, 연산군, 곡산군, 수안군, 연탄군, 서흥군, 신계군, 토산군, 금천군, 평산군, 린산군. 황해남도 봉천군. 신원군	H_I_J_K 지대에 걸쳐있음	일반 용재림과 동발나무 림	창성이깔나무, 소나무, 맹산검은소나무, 세잎소나무, 잣나무, 상수리나무, 밤나무, 쪽가래나무	탄전의 밀집으로 갱목수요 높고 산림집약도 높음
		5	강원도 법동군, 판교군, 세포군, 이천군, 철원군, 평강군, 김화군, 회양군, 창도군, 금강군	H	참나무+낙엽활엽수혼효림, 피복율 낮음	창성이깔나무, 참나무, 소나무, 세잎소나무, 신갈나무, 상수리나무, 밤나무, 쪽가래나무, 분지나무, 초피나무	단위당 생산성 낮고 수종갱신 필요

온대중부	제4지대	1	평안북도 의주군, 신의주시, 룡천군, 피현군, 염주군, 녕변군, 동림군, 선천군, 철산군, 곽산군, 정주시, 운전군, 박천군, 신도군	K_L	자연림거의 없고 치수로 형성된 인공림	창성이깔나무, 아카시나무, 밤나무, 잣나무, 포풀러나무, 두충나무, 상수리나무, 분지나무, 닥나무, 오동나무, 쪽가래나무, 소나무, 세잎소나무	산림 면적 비율 낮음(40%), 단위당 생산성 낮음
		2	평양시 전구역,군. 평안남도 안주시, 문덕군, 순천시, 운산군, 평성시, 대동군, 증산군, 온천군, 숙천군, 평원군. 황해북도 송림시, 황주군, 사리원시, 봉산군, 은파군. 황해남도 은천군, 은률군, 안악군, 재령군, 삼천군, 신천군, 송화군, 장연군, 과일군. 남포시구역,군.	K_C	산림피복 및 생산성 낮음	아카시, 오리, 창성이깔나무, 수삼나무, 호두나무, 잣나무, 상수리나무, 수삼나무, 수유나무 ,닥나무, 초피나무	인구 당 산림면적 비율 낮은 곳
		3	황해남도 룡연군, 태탄군, 벽성군, 옹진군, 해주시, 정단군, 연산군, 배천군, 강령군, 개성시전역,군.	H	산림 자원 적고 목재수요도 적음	세잎소나무, 수삼나무, 잣나무, 소나무, 상수리나무, 호두나무, 초피나무, 수유나무, 참대	

*1지대 : 용재생산과 보호림 융합
*2지대 : 급경사지역. 강하천의 길이가 짧고 물매가 급하므로 치산치수에 힘써야 함
*3지대 : 낭림산맥, 묘향산맥, 아호비령산맥, 마식령산맥이 지나가는 곳
*4지대 : 일반호보림, 땔나무, 동발림 등 지방목재수요 충족(대부분 평야지대와 인접한 산림황폐지역임)
*1998년과 2008년 사이에 산림경영지대 조정이 있었고 산림경영지구가 세분화 되었지만 자료의 부족으로 행정구역 반영은 하지 못함.

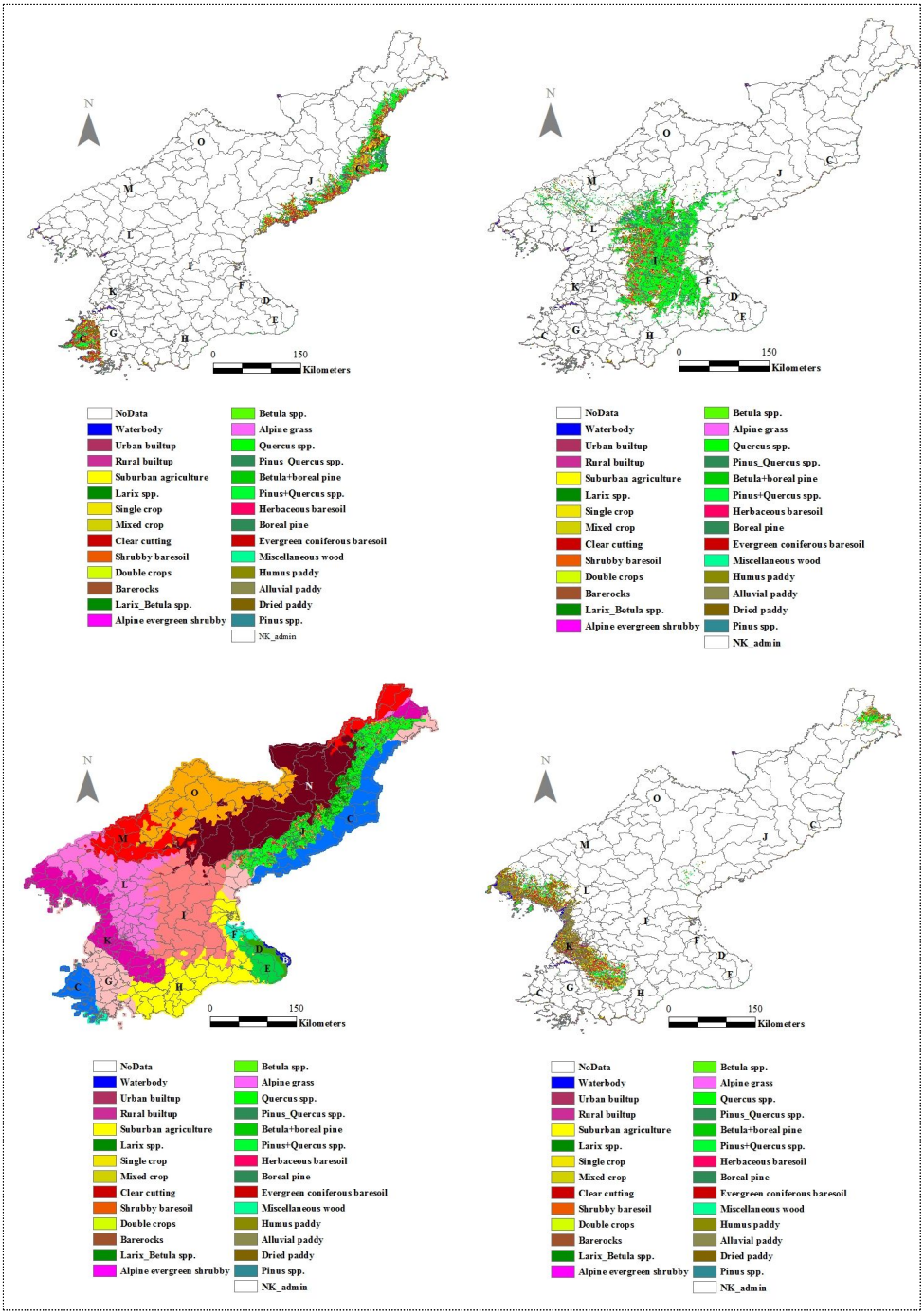
Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Figure 1. Ecological region by empirical input k = 5, 6, 7, 8(p 47/61)



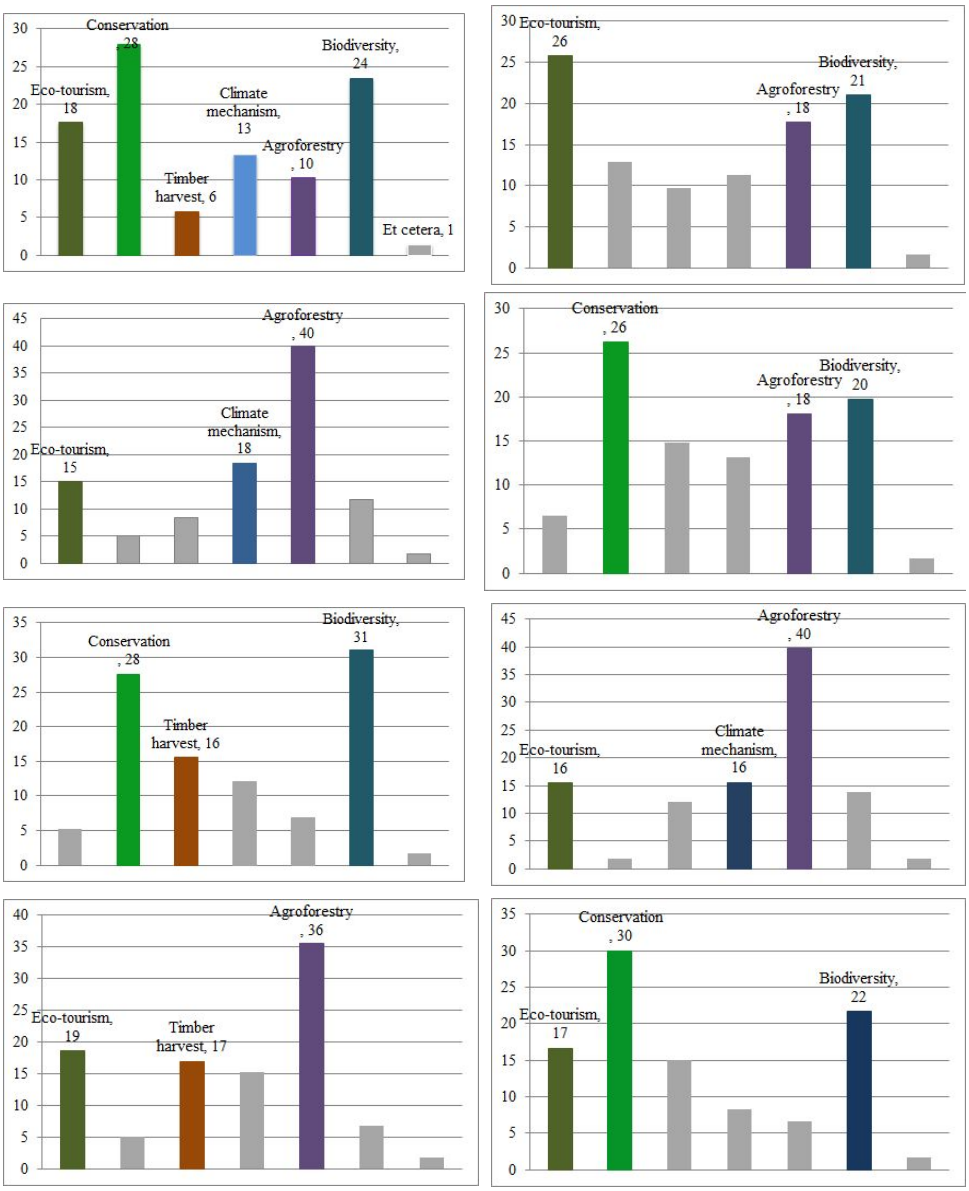
Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

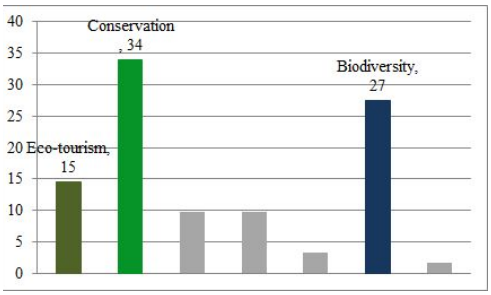
AX3_Figure 2. Extracting level 3 type land cover characteristics accordance with ecoregion(p 85)

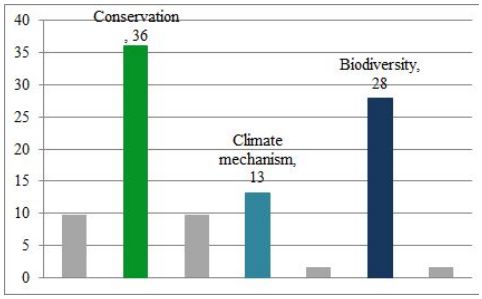


Appendix 3. 제4장 북한 산림경관 생태적 복원모형

AX3_Figure 3. Ecoregion restoration goals. From upper left to right, Preferred model forest(%), actual selected model forest C, G, I, J, K, L, M, N and O(%) each(p 102)




40
35
30
25
20
15
10
5
0
Conservation
, 34
Biodiversity,
27
Eco-tourism,
15


40
35
30
25
20
15
10
5
0
Conservation
, 36
Biodiversity,
28
Climate
mechanism,
13

Abstract

Ecological Restoration Modeling of Forest Landscape in North korea

Yu, Jaeshim
Interdisciplinary Program in Landscape Architecture
The Graduate School
Seoul Nation University

World forests, with agendas on biodiversity, climate change, livelihood of residents, and water resource quality coming under the spotlight, cover 31% of terrestrial land and 20% of degraded, has become an "opportunity of landscape' as a potential restoration area.

Among land area of 122,563㎢ in North Korea, about 80% is sloping land and 75% was covered in forests. Following the "great famine(konan ui haeggun; known in North Korea)" from 1994, 32% of forest areas were degraded, caused by shifting cultivation and energy sources. The regeneration of North Korea's forests has since become a topic of worldwide concern. Sweden has launched a reforestation project in North Korea to develop timber forests and to apply an integrated ecological restoration. Through the World Agroforestry Center (ICRAF), Swiss has attempted to restore the devastated forests of Hwanghaebuk-do in North Korea, and has seen positive results. North Korea itself has acknowledged that reforestation has an influence on the people's quality of life and economic stability. They have

undertaken restoration techniques are being applied throughout the country, the whole DPRK into 9 ecological regions, 49 ecological areas, and 441 ecological districts, then one is assessed according to degree of degradation to identify targets.

The restoration of North Korea's forests is also a subject of interest in South Korea. It seeks to recreate its 1970s success in reforestation. With a focus on rapid growth species and economic forests, South Korea is planning to carry out reforestation with erosion control and slope stabilization. The academia has attempted to apply AR/CDM or REDD to North Korea, using the devastated land area as an independent variable. However, such researches have been limited to the typical concept of tree-planting.

This study aim to develop a forest landscape reforestation modeling at the level of ecological regions by integrating landscape ecology methodology and ecological restoration principles. Landscape ecology provides methods to derive necessary factors for restoration by setting a spatial hierarchy and analyzing damaged areas. Ecological restoration presents integrity process by targeting future goal-oriented values for potential restoration areas. The modeling for ecological forest landscape restoration has set reforestation goals for the following reasons. First, restoration to the original state is no longer meaningful due to irreversible situations such as climate change, land use change, and change in native species. Second, ecological restoration pursues social and economic values through stabilization in terms of ecosystem function and structure. Third, goals will provide a basis for evaluating the success or failure of the restoration process.

The model for ecological restoration of forest landscape in North Korea has been developed in three stages. First, ecological regions in North Korea were categorized to derive ecological characteristics and restoration factors. A principal component analysis was performed to derive ecological characteristics for the Korean peninsula. k-mean clustering was used to classify the Korean peninsula into 15 ecological regions. An ANOVA test verified the explicit differences between regions and post-hoc pair wise comparisons that do not assume equal variance were performed to determine similarities within region. The validity of this study was confirmed by identifying the natural vegetation of each region and comparing results with regional classification of existing research. Each ecological region was named to express its uniqueness. Second, restoration factors were derived from potential restoration areas accordance with ecological regions. Potential restoration areas were detected through a statistical analysis of change in forest areas from 1989 to 2008. Changes in devastated forest land during this period were verify into local or global. Ecological factors leading to forest degradation were assessed using binary logistic regression analysis. A table for suitable species for each ecological region was prepared based on dominant vegetation and species recommended afforestation in North Korea. Third, restoration goals were set for each region by conducting a expert survey. The experts were provided with six alterative restoration goals and restoration factors, and selected goals by taking into account the characteristics of each ecological region.

Significant differences were found in principle components of

ecosystem between North Korea and South Korea. North Korea's ecosystem was characterized by high latitudes, low temperatures, and dryness. Meanwhile, South Korea had greater rainfall and higher soil water content. About 12% of land in North Korea showed similar ecological characteristics to South Korea, but the remaining 88% was vastly different. This implies that South Korea cannot its success in forest restoration by simply planting concept in North Korea. The ANOVA test found a p-value of 0.000, indicating significant differences between average values of the 15 ecological regions. Post-hoc pair wise comparisons found statistically significant similarities in annual rainfall and soil water contents between the southern mountainous ecosystem(ecoregion D) and Ryongseo ecosystem(ecoregion E). The study remains valid due to the unique classification of the 15 ecological regions. Jeju Island and the southern coast are home to evergreen broadleaf forests(ecoregion A). Mount Jiri and Taebaek, the southern mountainous ecosystem(ecoregion D) contain sub-alpine coniferous forests, which include the yew(*Taxus cuspidata*) and the Korean fir(*Abies koreana*). Sub-alpine coniferous forests were not found in the southern plains(ecoregion F). There were differences in natural vegetation between Ryongseo and the southern mountainous ecoregions. Since the distribution of natural vegetation in South Korea can be explained with validity, similar results were expected for the ecological regions in North Korea. The results of this study were statistically more objective compared to existing research as excluded research bias were made to the ecological regions. The distribution of climate change, topography, and land cover were reflected for each region, allowing this study to serve as a useful reference for restoration planning.

From 1989 to 2008, 18,525㎢ of land was identified as potential

restoration areas among the degraded forests in North Korea. Even the unchanged forest land of 73,154㎢, 10% of them were regarded as weak forests due to low productivity, and NVDI. During this period, forest change took place throughout North Korea (*Moran's I index = -1*). The same trends were observed in plains (ecoregion C, G, and K) with high population density and in mountainous areas (ecoregion M, N, and O) with low population density. In damaged forests, sparse forests and shifting cultivation were found to have a high positive correlation (*r = 0.91*). The proportion of shifting cultivation to sparse forests was 25~30% for low sloping land (150m-600m) and 32~45% for plateau. Low sloping land had less rainfall and drier soil, but the high population density led forests to shifting cultivation. Despite plateau having a high soil water content and low population density, they have seen a rapid increase in conversion to farming land. This indicates that the appling physical slope cannot be utilized in restoration plans for North Korea' s degraded forests. The 3-month rainfall in summer is one ecological factor that causes a conversion into farm land. Rainfall in the summer is essential to maintain rain-fed paddy fields, and this is especially true in North Korea, which is drier compared to the South. Rain-fed paddy fields can only survive if there is high moisture in the soil or with proper irrigation facilities. The table for afforestation species in North Korea includes dominant vegetation and afforestation recommended species. There are about 100 available species for reforestation of each ecological region. Economic valued species preferred by North Korea are chokeberries(*Aronia melanocarpa*), cranberry(*Vaccinium macrocarpon*), blackberries(*Rubus croceacanthus*), vitamin trees(*Hippophae rhamnoides*), nut pines(*Pinus koraiensis*), and chestnut trees(*Castanea crenata*). The Japanese larch(*Larix leptolepis*) and

metasequoia(*Metasequoia glyptostroboides*) are also preferred because they grow well even on damaged soil.

Based on restoration factors of potential restoration areas, restoration goals were set for each ecological region. Experts preferred agroforestry in plain ecosystem(G, L, K) dominated by arable land and with a high population density. Ecotourism and climate change adaptation were pursued together with agroforestry. Ecotourism (26%) and biodiversity (21%) were selected for the northern coastal dry ecoregion C, which is characterized by mixed forests and mild temperatures. Conservation and biodiversity were highly recommended for middle east interior ecoregion I, which has high rainfall and soil water content. Meanwhile, conservation and ecotourism were recommended for ecoregion M, which is transition ecosystem from plains into forests. This region is a popular tourist destination with its strange rocks making a spectacular landscape in North Korea. Conservation and ecotourism were selected for the typical coniferous forests in the ecoregion N, famous for Mount Baekdu, Gaema, and Jangjin Plateau. Conservation and timber forests were recommended for the Nangrim Mountainous region O, which is a sanctuary for pine trees in North Korea. The experts were more inclined to choose agroforestry for regions of plains. Agroforestry has merit improving ecosystem functions in a short period and contributes to the livelihood of residents. Biodiversity and conservation were more popular in forest ecoregions . The two offer the advantage of functional and structural stabilization of the ecosystem in the long term. The experts were frequently selected with ecotourism for whole ecoregions. As well as protecting the ecosystem, the experts were deducted interesting in creating economic value by using restoration ecosystem.

This study significant developing basic model for ecological restoration of degraded forest landscape in North Korea. Furthermore, many experts participated in the selection of restoration goals for each ecological region. However, Some suggestions for future research is to acquire useful GIS data, soil map, and to establish the spatial hierarchy to landscape level and sites.

Keywords : forest landscape restoration of North Korea, ecological region, potential restoration area, goal-oriented ecological restoration, ecosystem linear structure-function model

Student Number : 2011-30743