

「북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조립수종 선정」

연구 보고서

2016. 11. 30.



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY



고려대학교
KOREA UNIVERSITY

한국임업진흥원

제 출 문

한국임업진흥원장 귀하

귀 원과 2016년 6월 13일자로 용역계약을 체결한 ‘북한
산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정’을 관련 작업 규정 및
과업지시서 등에 의거 용역수행을 완료하고 그 성과를 종합하여 본
보고서를 제출합니다.

2016. 11.

고려대학교 컨소시엄

참 여 연 구 진

연구 책임자	고 려 대 학 교	손 요 환
공동 연구원	서 울 대 학 교	박 수 진
연구 원	고 려 대 학 교	이 우 균
"	"	배 상 원
"	한스자이델재단	Bernhard Seliger
연구 보조원	한스자이델재단	최 현 아
"	고 려 대 학 교	이 슬 기
"	"	김 세 진
"	"	이 수 정
"	"	김 성 준
"	서 울 대 학 교	노 유 진
"	"	정 진 숙
"	"	김 추 홍
"	"	안 유 순
"	"	심 우 진
"	"	이 승 진

목 차

제1장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목표	3
1.3 연구 추진 체계	4
제2장 산지토양정보 고도화	5
2.1 이론적 배경	5
2.1.1 북한의 산림토양정보 및 전통적인 토양 조사의 문제점	5
2.1.2 현행 토양예측기법 및 장단점	6
2.1.3 카테나(Catena) 토양-경관분석법	10
2.1.4 산지 및 구릉지-평지 분류법	15
2.2 북한 산지토양 예측방법	18
2.2.1 다계층적 환경변수 추출	18
2.2.2 기후요인	20
2.2.3 식생분포-토지이용 요인	20
2.2.4 지질 요인	20
2.2.5 지형기본요인/사면형태요인 분석을 위한 수치고도모형 전처리와 자료 변환	22
2.2.6 지형기복 요인	23
2.2.7 사면형태 요인	23
2.2.8 토양형성단위의 구분	25
2.3 북한 산지토양 예측 알고리즘 개선	30
2.3.1 남-북 접경지대의 환경자료와 토양간의 상관성 규명	30
2.3.2 북-중 접경지대의 환경자료와 토양간의 상관성 규명	34
2.3.3 현장조사를 통한 북한 산지토양정보 예측 알고리즘 정교화	39
2.3.4 동적모형을 활용한 북한토양속성 보정	44
2.3.5 토양예측 알고리즘 개선	51

2.4 연구 결과.....	54
2.4.1 예측 토양정보 목록.....	54
2.4.2 예측 토양정보 도면.....	55
제3장 적정 조립수종 선정.....	65
3.1 연구 방법.....	65
3.1.1 자료 수집.....	65
3.1.2 조립수종 선발.....	65
3.1.3 적지 선정 지표 개발.....	67
3.1.4 도면 제작.....	67
3.2 연구 결과.....	73
3.2.1 복한 수종 자료 분석.....	73
3.2.2 적정 조립 수종 선정.....	76
3.2.3 적지 선정 지표.....	84
3.2.4 수종별 조립 적지 기준 및 도면.....	86
3.2.5 황폐 산지 복구 수종 및 도면.....	115
제4장 목표 달성도.....	137
제5장 연구개발결과의 활용 방안.....	141
제6장 참고문헌.....	147
제7장 부록.....	151

그림 목 차

그림 1 남북한의 임목축적 변화	1
그림 2 본 연구의 추진 체계	4
그림 3 토양-경관분석법(soil-landscape analyses)의 이론적 기반과 적용가능성	6
그림 4 Nine-unit Landscape Model	10
그림 5 지형분석을 통한 토양-지형단위 추출과정의 모식도	12
그림 6 지형분류 기준자 도출(a,b,c,d)을 위한 산점도 예시	14
그림 7 지형구분자에 따라 사면이 나타나는 2차원적인 위치	14
그림 8 한반도 유역의 일반적인 속성과 설문조사 결과	15
그림 9 한반도 유역의 일반적인 경사도 빈도분포 현황	16
그림 10 북한에 기후요인에 사용된 자료 예시	19
그림 11 북한의 산림면적 변화 현황	19
그림 12 1:1,000,000 지질도와 토양지질도로의 변환	21
그림 13 지형기복요인/사면형태요인 분석을 위한 수치고도모형 전처리 및 이후 분석 절차	21
그림 14 유역별 최적경사도 분포 및 산지-평지 구분결과	24
그림 15 사면단위 지형분류 결과	27
그림 16 토양형성단위 구분결과	29
그림 17 분석에 이용한 산림입지토양도의 분포도	32
그림 18 1:200,000 연변토양도(1990년)	35
그림 19 연변대와의 교류 협력	36
그림 20 현장조사 지역	40
그림 21 연구지역별 토양의 속성정보 차이	41
그림 22 연구지역의 산지 및 경작지별 토양의 속성정보 차이	42
그림 23 RUSLE를 적용한 토침예측 보정 모식도	45
그림 24 PTF의 적용을 통해 추정된 북한지역 유기물량	48
그림 25 CENTURY 모형과 RothC 모형의 분석구조 비교	50

그림 26 RothC 모형을 통한 북한 경작지역 유기탄소변화 시나리오 분석예시	50
그림 27 분석에 이용한 산림입지토양도의 분포도	52
그림 28 토양형 예측 도면 도출결과	55
그림 29 토성 예측 결과	57
그림 30 토심 예측 결과	59
그림 31 유기물량 예측 결과	60
그림 32 토양수분 예측 도면	61
그림 33 견밀도 예측 도면	62
그림 34 최한월 평균 기온을 이용한 기후대 등급화 과정	68
그림 35 지형 자료를 활용한 경사 및 사면 추출 방법	68
그림 36 변수 지도 자료	69
그림 37 변수별 점수화 모식도	71
그림 38 변수 적지 총합 도출 모식도	71
그림 39 연구 결과 코드화 예시	72
그림 40 소나무 조림 적지 기준 및 도면	87
그림 41 앞갈나무 조림 적지 기준 및 도면	88
그림 42 잣나무 조림 적지 기준 및 도면	89
그림 43 일본앞갈나무 조림 적지 기준 및 도면	90
그림 44 신갈나무 조림 적지 기준 및 도면	91
그림 45 자작나무 조림 적지 기준 및 도면	92
그림 46 상수리나무 조림 적지 기준 및 도면	93
그림 47 가문비나무 조림 적지 기준 및 도면	94
그림 48 곰솔 조림 적지 기준 및 도면	95
그림 49 리기다소나무 조림 적지 기준 및 도면	96
그림 50 분비나무 조림 적지 기준 및 도면	97
그림 51 스트로브잣나무 조림 적지 기준 및 도면	98
그림 52 전나무 조림 적지 기준 및 도면	99
그림 53 종비나무 조림 적지 기준 및 도면	100
그림 54 느티나무 조림 적지 기준 및 도면	101

그림 55 들메나무 조림 적지 기준 및 도면	102
그림 56 물푸레나무 조림 적지 기준 및 도면	103
그림 57 밤나무 조림 적지 기준 및 도면	104
그림 58 아까시나무 조림 적지 기준 및 도면	105
그림 59 백합나무 조림 적지 기준 및 도면	106
그림 60 포플러나무 조림 적지 기준 및 도면	107
그림 61 피나무 조림 적지 기준 및 도면	108
그림 62 호두나무 조림 적지 기준 및 도면	109
그림 63 북한의 황폐지 분류와 황폐지 확률도	117
그림 64 북한의 무림목지 분포	119
그림 65 상수리나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	120
그림 66 소나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	121
그림 67 신갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	122
그림 68 일본잎갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	123
그림 69 잎갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	124
그림 70 자작나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	125
그림 71 잣나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포	126
그림 72 북한의 산간나지 분포	128
그림 73 리기다소나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포	129
그림 74 소나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포	130
그림 75 신갈나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포	131
그림 76 아까시나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포	132
그림 77 자작나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포	133
그림 78 북한의 개간산지 분포	135
그림 79 알고리즘 자동화 및 북한토양정보시스템 모식도	143

표 목 차

표 1 본 연구의 용역공정예정표	3
표 2 토양예측기법의 개요, 장점, 단점	7
표 3 토양경관단위 토양예측기법의 개요, 장점, 단점	8
표 4 이 연구에서 사용된 토양지형단위와 각 토양지형단위에서는 지형 및 토양형성 작용, 토양형태, 토지이용상의 문제점	13
표 5 토양형성환경의 공간적 의존성 및 다계층성 추출을 위한 세미베리오그램 (semivariogram) 분석결과	18
표 6 유역별 지형기복요인과 사면형태분류 기준수치 도출 결과	25
표 7 각 사면단위 구분이 북한일대에서 차지하는 면적비	28
표 8 남-북 접경지대 산림토양정보 및 환경정보	30
표 9 남-북 접경지대 산림입지토양도-환경자료 간 범주형 회귀분석 결과	33
표 10 북-중 접경지대 구득된 중국자료 목록	34
표 11 북-중 접경지대 토양과 지형변수와의 기술통계 예시	36
표 12 북-중 국경지대 토양과 환경자료의 상관성 규명 예시	38
표 13 토양속성전환공식 PTF 관련 연구사례	47
표 14 대표적 토양탄소모형의 개괄	49
표 15 토양전문가 자문회의 주요내용 요약	51
표 16 예측 토양정보 목록	54
표 17 북한 산림토양형 예측 결과의 면적비	56
표 18 북한 산림토양 토성 예측 결과의 면적비	58
표 19 북한 산림토양 토심 예측 결과의 면적비	59
표 20 북한 산림토양 유기물량 예측 결과의 면적비	60
표 21 북한 산림토양 토양수분 예측 결과의 면적비	62
표 22 북한 산림토양 건밀도 예측 결과의 면적비	63
표 23 대북지원 유관기구	66
표 24 변수별 단위 및 세부 구성	70
표 25 북한 주요 경제수종 분류	73

표 26	북한 임농복합경영 주요 수종과 대상지	74
표 27	북한 임농복합경영 해발고도에 따른 수종 및 작물배치(안)	75
표 28	로동신문, 조선중앙통신 산림관련 기사에 언급된 조림수종	75
표 29	기관별 별 지원 수종	77
표 30	북한 주요수종 분포	78
표 31	북한의 지대별 조림수종	79
표 32	북한 수종의 용도별 구분	79
표 33	적정 조림수종 리스트	81
표 34	적정 조림수종의 특성	81
표 35	인자별 점수표	85
표 36	북한 적수선정 적지인자별 점수표	85
표 37	수종별 적정 조림 지역	110
표 38	행정구역상 도별 적정 조림 수종	114
표 39	작년도 과업에서 제시한 북한의 황폐지 분류 및 정의	115
표 40	무림목지의 입지 기준에 따른 적정 조림수종	118
표 41	산간나지의 입지 기준에 따른 적정 조림수종	127
표 42	개간산지의 복구 목적에 따른 적정 조림수종	134
표 43	“산지토양정보 고도화”의 기간별 연구 목표, 주요 내용, 달성도	138
표 44	본 연구의 목표 달성도	140
표 45	장백산 포럼 출장 상세 내용	151
표 46	장백산 포럼 출장 일정	151
표 47	장백산 포럼 일정	152
표 48	남북한 국제기구 가입 통계	158
표 49	남북한 국제기구 가입 시기 비교	158
표 50	산림분야 남북회담 연표	159
표 51	산림관련 국가 기관 등록 민간단체 목록	161
표 52	산림관련 거래의숲 참여 민간단체 목록	162
표 53	산림관련 기타 민간단체 목록	163
표 53	남북한 식물명	165

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

북한 산림의 황폐화 문제는 북한뿐만 아니라 한반도 전체 생태계를 위협함에 따라 북한의 산림을 보전 및 복원하기 위한 사업이 주목을 받고 있다. 북한 당국은 2012년에 특별 교시를 통하여 기존의 산림 복구 정책이 큰 효과를 거두지 못하였음을 인정하고, 향후 10년 동안 산림을 복구하는 것에 초점을 맞출 것이라 발표하였다. 실제로 북한 당국은 스위스개 발협력청 등 해외 지원을 바탕으로 다양한 산림 복구 사업을 추진하고 있다(Xu et al., 2011).

그러나 산림 보전 및 복구에 대한 북한 당국의 관심에도 불구하고 북한의 산림 황폐화는 점차 심화되고 있다. 2014년에 북한 국토환경보호성 조립처 변정균 처장은 북한의 임목축적이 1990년에는 약 5억 2천5백만 m^3 이었으나, 2010년에는 약 3억 3천만 m^3 수준으로 감소한 것으로 발표하였다. 이는 같은 기간 동안 남한의 임목축적이 약 2억 4천8백만 m^3 에서 약 8억 m^3 으로 크게 증가한 것과는 대조적이다(그림 1).

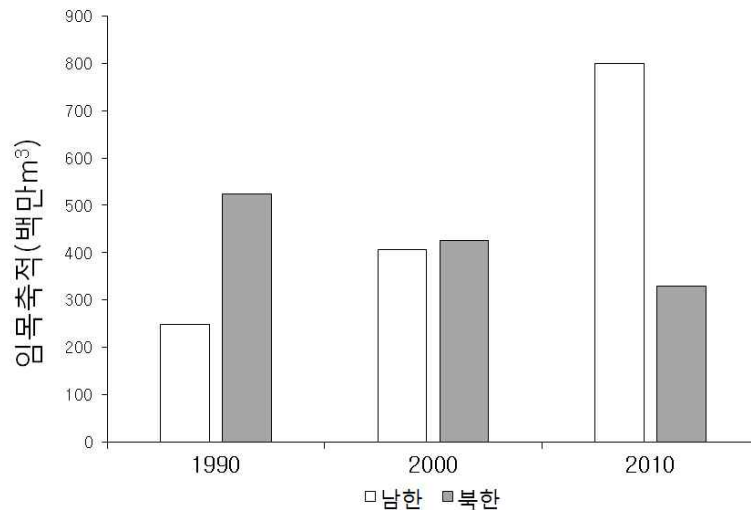


그림 1 남북한의 임목축적 변화(출처: 변정균, 2014; 산림청, 2015)

이처럼 북한의 산림 복구 노력이 큰 성과를 거두지 못하는 원인은 다양하나, 북한 내에 산림 복원에 필요한 기술 및 정보가 부족하다는 점을 주요 원인 중 하나로 꼽을 수 있다. 즉, 산림 복원에 앞서 북한 전역의 토양 성질, 지형, 기후 등의 현황을 파악하여 구체적인

조림수종과 기준을 수립해야 하나, 이에 필요한 기술 및 정보가 부족한 상황이다. 따라서 북한의 토양 정보를 정확하게 파악하고, 이를 바탕으로 각 입지 조건에 맞는 조림수종을 선발하는 기준을 수립하는 것이 필요하다.

이에 따라 2015년도에 한국임업진흥원의 주관 하에 위성영상을 이용한 북한의 산림 현황 구분 및 토양 예측 연구가 진행된 바 있으나, 이용 가능한 자료가 제한되어 있어 그 정확도에 한계가 있는 상황이다. 더욱이 북한에 조림할 수 있는 수종을 선발하기 위한 연구가 일부 진행되었으나, 북한의 사회경제적 요구와 실제 지원 및 조림 가능 여부를 고려한 조림수종 선정과 과학적 기준에 근거하여 조림 적지를 선정하는 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 2015년도에 추진된 “인공위성자료를 활용한 북한 산림현황 분석” 연구의 후속 연구로서, 작년도에 구축한 북한의 산지토양정보의 활용 가능성을 높이고, 나아가 이를 북한의 자연 및 사회경제적 조건에 맞는 조림 수종을 선발하고 수종별 조림 적지를 도출하는 데에 활용하기 위하여 진행되었다. 본 연구를 진행함으로써, 북한의 토양 및 조림수종 정보를 제공하여 황폐 산림을 복구하는 것에 실질적으로 기여하고자 한다.

1.2 연구 목표

본 연구의 최종 목표는 (1) 기존에 구축한 북한 산지토양정보를 향상시켜 고도화하고, (2) 북한 내 산림 복구에 적합한 조림수종을 목록화하여 주제도를 구축하는 것이다. 나아가 이를 통하여 북한의 조림 및 산림 복구 의사 결정 시스템을 마련하는 것에 과학적 근거를 제공하고자 한다.

본 연구의 최종 목표를 달성하기 위하여 (1) 기존 북한 산지토양정보 예측 알고리즘을 개선하고 추가 토양정보를 도출하는 것, (2) 새롭게 도출한 북한 산지토양정보에 관한 주제도를 작성하는 것, (3) 북한 내 조림 및 산림 복구에 적합한 수종을 목록화하고 조림 기준을 수립하는 것, (4) 각 수종별 조림 적지를 도면으로 작성하는 것 등을 세부 목표로 삼고, 표 1의 용역공정예정표에 의거하여 연구를 진행하였다.

표 1 본 연구의 용역공정예정표

사업내용	구분	월별 추진일정						비고
		6	7	8	9	10	11	
1. 북한 산지토양정보 고도화 및 주제도 구축								
-북한 산지토양정보 및 환경정보 수집		—	—	—	—			
-현장조사를 통한 북한 산지토양정보 예측 알고리즘 개선 방안 수립			—	—	—			
-정확도 증진 및 산지토양정보 추가 도출을 위한 알고리즘 개선				—	—	—		
-북한산지토양정보 주제도 구축						—	—	
2. 적정 조림수종 선발 및 주제도 구축								
-적정 조림수종 선발 인자 도출		—	—	—				
-공간자료 작성 알고리즘 및 시각화 방법론 개발		—	—	—	—			
-위성영상 및 기타 공간 자료 수집 및 가공					—	—		
-적정 조림수종 선발 및 주제도 구축					—	—	—	
3. 기타 연구 진행								
-착수, 중간, 완료보고		—		—			—	
진도율(%)		10	20	40	50	75	100	

1.3 연구 추진 체계

본 연구의 최종 목표를 달성하기 위하여, 기존에 구축한 북한 산지토양정보를 고도화하는 내용을 서울대학교(1세부)에서, 적정 조림수종을 선발하고 관련 도면을 제작하는 작업을 고려대학교(2세부)에서 담당하고, 필요한 자료를 각 세부 간에 공유하였다(그림 2). 특히 북한의 산지토양정보를 고도화하는 과정에서 도출된 결과를 수종별 조림 적지 선정에 활용함으로써, 두 세부별 작업 간 연계성을 높이고자 하였다.

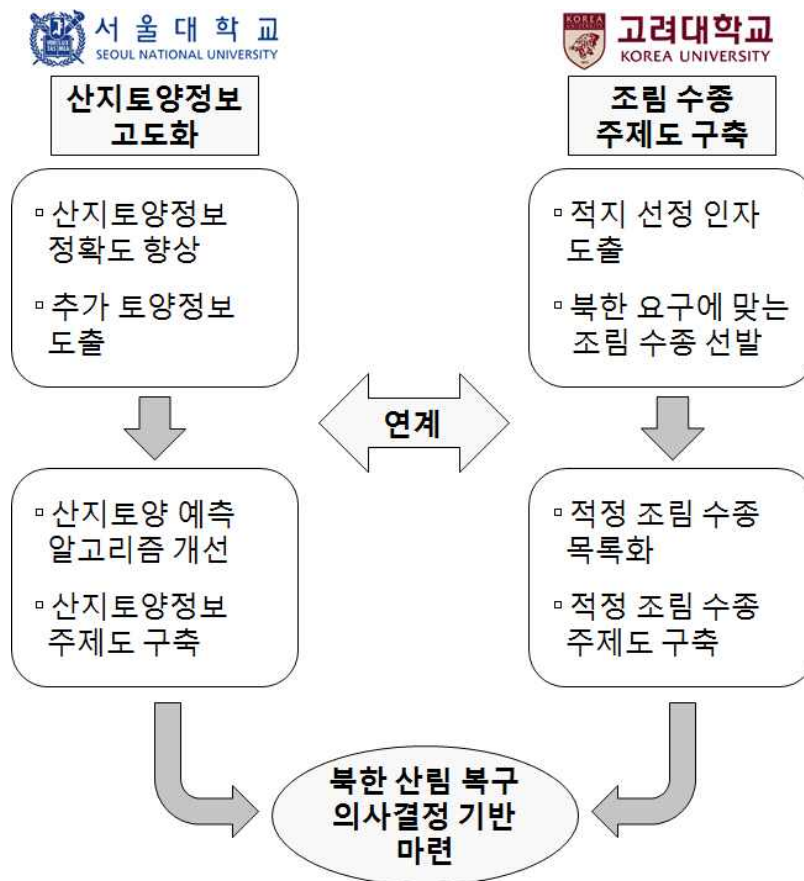


그림 2 본 연구의 추진 체계

제 2 장 산지토양정보 고도화

이 장에서는 2015년 연구를 진행하였던 북한의 산지토양정보 예측 알고리즘을 고도화하여, 북한의 조림수종 선정에 위한 정보로서 산림토양 정보를 예측하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 먼저 산지토양정보 예측을 위한 이론적 배경을 소개하며, 2015년까지 개발한 기본적인 예측방법에 대해서 소개한다. 그 후 알고리즘의 개선에 대해서 소개하고, 결과를 도출하는 것으로 내용을 기술한다.

2.1 이론적 배경

본 연구에서는 북한의 산지토양정보를 예측하기 위해서, 공간정보를 활용한 토양경관분석법(soil-landscape analysis)을 사용하였다. 이를 위해 이 절에서는 예측 필요성, 이 연구방법을 뒷받침하는 이론적 기반에 대해서 소개한다.

2.1.1 북한의 산림토양정보 및 전통적인 토양 조사의 문제점

북한의 산림황폐지 복원을 위해서는 북한의 산지토양 특성을 파악하는 것이 중요하다. 하지만 북한의 산지토양을 파악하는 데에는 몇 가지 문제가 있다. 첫째, 기존 북한의 토양조사결과가 알려지지 않고 있다. 북한은 1958년을 기점으로 수차례에 걸친 토양조사 계획을 수립하고 시행하였다고 알려져 있으나, 구체적인 결과는 알려져 있지 않으며 지리교과서 또는 일반 도서에 실린 2차 자료를 통해 대체적인 분포를 유추하는 수준이다(李象榕, 1980; 류인수, 2000; 류인수, 2008; 한국임업진흥원, 2015). 둘째, 자료를 구하거나 실측을 위한 북한에의 접근이 허용되지 않으며, 현장조사가 어렵다는 문제가 있다. 특히 최근 몇 년간의 북한 주변의 정세 변화는 이를 더 어렵게 하고 있다. 셋째, 남북 간의 토양분류 및 조사체계가 상이하다. 북한 토양분류는 중국과 구소련의 영향을 많이 받아 생성학적 분류체계를 따르는 것으로 예상되며, 이는 미국 농무성 토양분류체계에 영향을 받은 남한의 농업토양체계 및 일본에 영향을 받은 남한의 산림토양체계와 차이가 있다(朱鹤健. 何宜庚 (編), 1992.; 류인수, 2000; 류인수, 2008; 한국임업진흥원, 2015).

북한의 산지토양 특성을 파악하는 데에는 이와 같은 북한의 특성과 관련된 많은 문제가 존재한다. 하지만 향후 남북관계가 개선되어 북한의 산지토양에 대한 조사가 가능해지더라

도 근본적으로 전통적인 토양 조사가 가지고 있는 문제점을 극복할 필요가 있다. 첫째, 전통적인 토양조사는 오랜 시간에 걸쳐 새로운 조사가 이루어지며, 이에 따라 많은 인적·물적 비용이 발생한다. 둘째, 토양조사자들의 주관적인 판단이 토양조사 결과의 차이에 영향을 줄 수 있다. 셋째, 이를 통해 제작된 (전자)토양도는 폴리곤(Polygon)의 형태로 작성되기 때문에, 연속적으로 분포하는 현실의 토양 특성을 반영하지 못한다. 넷째, 기존의 토양도는 대개 한 두개의 축척으로 제작되지만, 토양형성요인은 다중 스케일에서 발생하기 때문에 발생하는 문제를 해결해야 하는 문제가 있다(Park et al., 2001). 따라서 향후 북한의 산지토양에 대한 조사가 가능해지더라도 이러한 전통적인 토양 조사가 가지는 문제점을 해결하여야 할 필요가 있다.

최근 이러한 전통적인 토양조사 방법의 문제가 제기되고 디지털토양도작성(digital soil mapping)에 대한 중요성이 부각되면서, 이를 위한 많은 토양예측 기법이 개발되어 오고 있다(Park and Vlek, 2002). 토양예측기법은 지형과 토양을 분석하는 지리정보시스템(Geographical Information System)의 발전에 힘입어 그 기술이 발전해 가고 있으며, 특히 전통적으로 토양조사를 수행하기 어려운 개발도상국이나 국토면적이 광대한 국가에서 이러한 토양예측기법은 적극적으로 이용될 것으로 예상되고 있다.

2.1.2 현행 토양예측기법 및 장단점

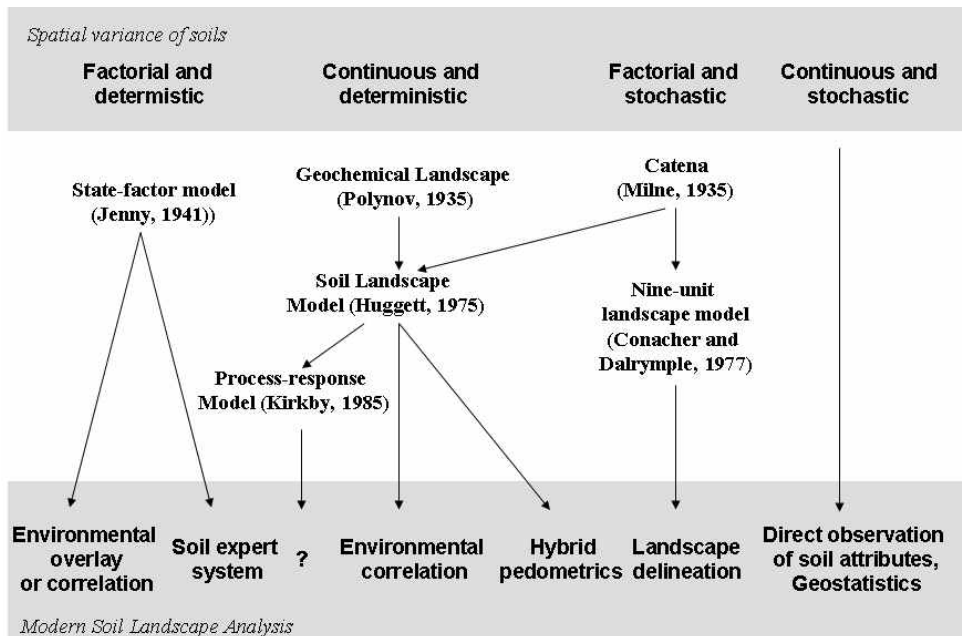


그림 3 토양-경관분석법(soil-landscape analyses)의 이론적 기반과 적용가능성 (Park and Vlek, 2002)

표 2 토양예측기법의 개요, 장점, 단점

토양-경관 분석법	개요	장점	단점
직접관찰 (Direct Observation)	구체적인 토양속성을 원격탐사기법 혹은 각종 측정기구들을 이용하여 직접 조사하는 기법.	<ul style="list-style-type: none"> - 토양조사에 사용되는 노력과 경비를 줄일 수 있음 - 시계열적인 토양 속성의 변화파악 가능 - 토양속성의 공간적인 변이를 파악할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> - 사용되는 각종 센서들의 정확성이 높지 않음 - 원격탐사를 이용할 경우, 지표 상태에 따라서 결과의 불확실성이 높아짐
토양통계 (Pedometrics)	다양한 공간통계기법을 이용하여, 토양의 공간적인 분포를 예측.	<ul style="list-style-type: none"> - 토양속성의 분포를 정량적으로 파악할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 자료의존성이 높아, 미조사지역에 대한 예측이 어려움
환경요인의 중첩분석 (Environmental Overlay)	토양형성과 관련된 것으로 추정되는 환경요인들의 중첩을 통해 토양속성을 예측.	<ul style="list-style-type: none"> - 신속하게 토양형성 환경을 파악 - 기존의 공간정보 시스템과 통합이 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경요인이 토양형성에 미치는 영향에 대한 정량적인 관계가 파악되어야 함
환경요인과의 상관성 분석 (Environmental Correlation)	환경요인들과 조사된 토양속성들 간의 통계적인 상관성분석을 통해 토양을 예측.	<ul style="list-style-type: none"> - 토양의 속성에 영향을 미치는 각종 환경요인들의 영향을 정량적으로 파악 - 유사한 환경특성을 보이는 지역에 대한 토양예측이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 충분한 양의 토양조사 결과가 필요함 - 미조사지역에 적용할 경우, 외삽오차가 발생할 가능성이 높음 - 토양속성별로 상관관계가 달라짐
토양경관구분법 (Soil-Landscape Delineation)	지표에서 나타는 다양한 물질 및 에너지 순환의 특성을 고려하여 지표면을 구분하여 토양을 예측.	<ul style="list-style-type: none"> - 토양형성과 관련된 일반법칙을 추출해낼 수 있음 - 통계적인 의존도가 낮아 넓은 지역을 대상으로 한 토양예측이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 구분된 경관과 토양속성간의 관계가 불명확 - 지역적인 토양형성 환경의 차이를 반영하기 어려움
토양전문가시스템 (Soil expert system)	토양조사전문가들의 판단을 보조해줄 수 있는 환경정보 시스템을 이용하여 토양도를 작성.	<ul style="list-style-type: none"> - 토양조사자들의 현장경험을 최대한 이용 - 토양조사자들 간의 판단을 도울 수 있는 다양한 정보를 제공 - 구축된 시스템은 지속적인 개선과 보완이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 구축비용이 높음 - 토양과 환경요인들 간의 상관관계가 충분히 밝혀져야만 구축이 가능함

현행 토양분석기법 또는 토양-경관분석법의 이론적 기반과 적용가능성은 그림 3과 같이 다양한 방법이 있으며, 최근 많이 쓰이고 있는 토양예측기법의 특성과 장단점을 비교하면 표 2와 같다. 이 중 현대 토양학·토양지리학에서 주요하게 쓰이는 토양-경관분석법은 환경

요인과의 상관성 분석(Environmental Correlation)과 토양통계(Pedometrics)기법이다. 이 기법은 현지조사와 토양환경 요소들 간의 상관관계에 집중하는 기법이다. 하지만 토양과 환경요인과의 상관관계 결과는 다른 지역에는 적용하기 힘든(site-specific) 경우가 많으며, 스케일 및 사용 자료에 따라 그 상관성이 달라지는 경우가 있다. 뿐만 아니라 분석을 위한 자료 수집에는 여전히 많은 비용이 소요된다. 마지막으로 지형 및 경관에 대한 프로세스의 이해는 현재까지 부족하기 때문에, 통계적 상관성 분석만으로 예측을 진행하는 것은 정확성이 떨어질 수밖에 없다.

표 3 토양경관단위 토양예측기법의 개요, 장점, 단점(정관용, 2011)

구분	장점	단점	대표적 연구사례
프로세스기반	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 경관과 스케일에 대한 일반화 가능 지형분류에 대한 개념모델 적용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 기준자의 인위적 선택문제 공간적 연속성을 고려하지 못함 	<ul style="list-style-type: none"> Park et al.(2001)
통계기반	<ul style="list-style-type: none"> 자료의 특성을 살린 자연스런 분류 가능 예측하지 못한 새로운 지형단위가 제시될 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 결과해석 시 주관성을 배제하기 어려움 지형변수에 따른 다양한 결과로 평가의 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 감독분류 : Hegel et al., (2004) Isodata : Irvin et al.(1997) Fuzzy K-means : Schmidt and Hewitt(2004), Deng and Wilson(2006)
객체기반	<ul style="list-style-type: none"> 모양과 크기 등 다양한 자료의 특성 이용 가능 지형단위를 연속적으로 분류할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 전체적으로 복잡한 기준을 설정하기 어려움 스케일과 계층적 관계에 대한 이해 부족 	<ul style="list-style-type: none"> Dragut and Blanschke(2006) Gerçek(2010)

이러한 문제를 극복하기 위해서 이 연구에서 적용하고자 하는 방법론은 토양-경관구분법(Soil-Landscape Delineation)에 기반을 둔 토양-경관분석법이다. 이는 지표에서의 물질과 에너지 순환과 특성을 고려하여 지형경관에서 나타나는 프로세스에 따라 토양특성을 예측하는 방법으로, 토양형성과 관련된 일반법칙을 추출할 수 있다. 또한 통계적인 의존도가 낮은 방법으로 넓은 지역을 대상으로 하는 토양 조사나 가용자원 및 데이터가 부족한 개발도상국에서 사용이 용이하다. 특히 과거에는 토양경관단위를 구분하는 것에 대한 정량화나 자동화가 어렵다는 문제가 있었으나, 최근의 컴퓨터 기술의 발전을 통하여 그 문제는 점차 극복되어 가고 있다. 특히 현대적인 토양조사를 수행할 때 지형경관을 우선 구분한 후 이에 따라 조사를 진행하는 과정을 통해 토양속성을 부여하는 과정을 거치기 때문에, 이 방법은 토양조사 알고리즘을 반영한다는 강점 또한 존재한다.

경관구분법에 기반을 둔 토양-경관분석법의 종류는 프로세스기반 분류법, 통계기반 분류

법, 객체기반 분류법으로 나뉜다(표 3). 이들 방법들은 각각 장단점이 명확하기 때문에 복한의 상황을 고려한 보다 정확한 방법을 개발하여 사용할 필요가 있다. 특히, 지역적인 특수성을 반영하기 위해서는 현장조사를 통해 토양예측방법의 정확도를 개선하려는 노력이 필요하다.

토양경관단위에 대한 프로세스기반 분류법은 생태학적인 측면에서 물과 에너지, 물질의 흐름을 정량화하여 토양특성을 예측할 수 있는 지형분류기법이다. 다양한 경관과 스케일에 대한 일반화가 가능하며, 지형분류에 대한 개념모형 적용이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 기준자의 인위적 선택문제가 있으며, 공간적 연속성의 고려가 다소 미흡하다는 한계가 있다.

통계기반 분류법은 프로세스에 대한 지식과 상관없이 집단 간 차이가 최대이며 집단 내에서 차이가 최소가 되도록 반복적인 통계분류를 실시함으로써 토양경관단위의 분류개수를 만들어내는 방법이다. 영상 피복분류와 그 원리와 방법론이 유사하며, 이에 따라 감독분류를 이용한 연구와 무감독분류(ISODATA Fuzzy K-Means 등)를 이용한 연구사례들이 있다. 이 연구들은 자료의 특성을 살린 자연스러운 분류가 가능하고 예측하지 못한 새로운 지형단위가 제시될 수 있다는 장점이 있으나, 결과 해석 시 주관성을 배제하기 어려우며, 결과가 다양하게 도출될 수 있어 평가나 해석이 어려울 수 있다는 문제가 있다.

객체기반 분류법은 영상 피복분류에서의 그것과 그 원리와 방법론이 유사하다는 점에서 통계기반 분류와 유사한 방법론이며, 통계기반 분류가 화소의 형태로 영상 또는 지형을 분류함에 따라 공간적 자기상관을 반영하지 못하는 한계를 극복하기 위한 방법론이다. 객체기반 분류법은 모양과 크기 등 다양한 지형자료의 특성을 활용하여 연구를 진행하며, 지형단위를 연속적으로 구분할 수 있다는 강점이 있다. 하지만 형태적 특성을 검출하는 기법에 치우쳐 있어 전체적으로 복잡한 기준을 설정하기 어려우며 스케일과 계층적 관계에 대한 이해가 부족하다는 한계를 지닌다.

본 연구에서는 정보가 부족한 복한 산림토양의 다양한 정보를 추출해야 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 프로세스 기반으로 경관을 구분하는 것이 타당하다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 프로세스기반 토양분석법 중 대표적인 사례인 Park et al.(2001)의 카테나(Catena) 방법을 중심으로 연구를 진행하였다.

2.1.3 카테나(Catena) 토양-경관분석법

카테나(Catena) 토양-경관분석법은 Park et al.(2001)이 개발한 프로세스 기반 토양-경관분석법이다. “카테나(Catena)”라는 용어는 영국의 토양학자 Milne(1936)에 의해 처음으로 소개되었다. Milne는 1920년대 후반 동아프리카 전역에 대한 토양조사를 수행하던 중, 광대한 영역에 비해 제한된 인적·물적 자원의 한계에 부딪혔다. 이러한 문제를 극복하기 위해 그는 “연결(Chain)”이라는 뜻의 라틴어 Catena라고 불리는, 토양과 지질, 지형과의 상관성을 분석하는 방법을 개발하였고, 이를 동아프리카에 적용하였다(Milne, 1936). 이 개념은 이후 많은 지형학과 토양학의 분야에 적용되어 지형과 토양의 상관성 및 지형에 따른 토양의 분포에 대한 연구에 활용되었다.

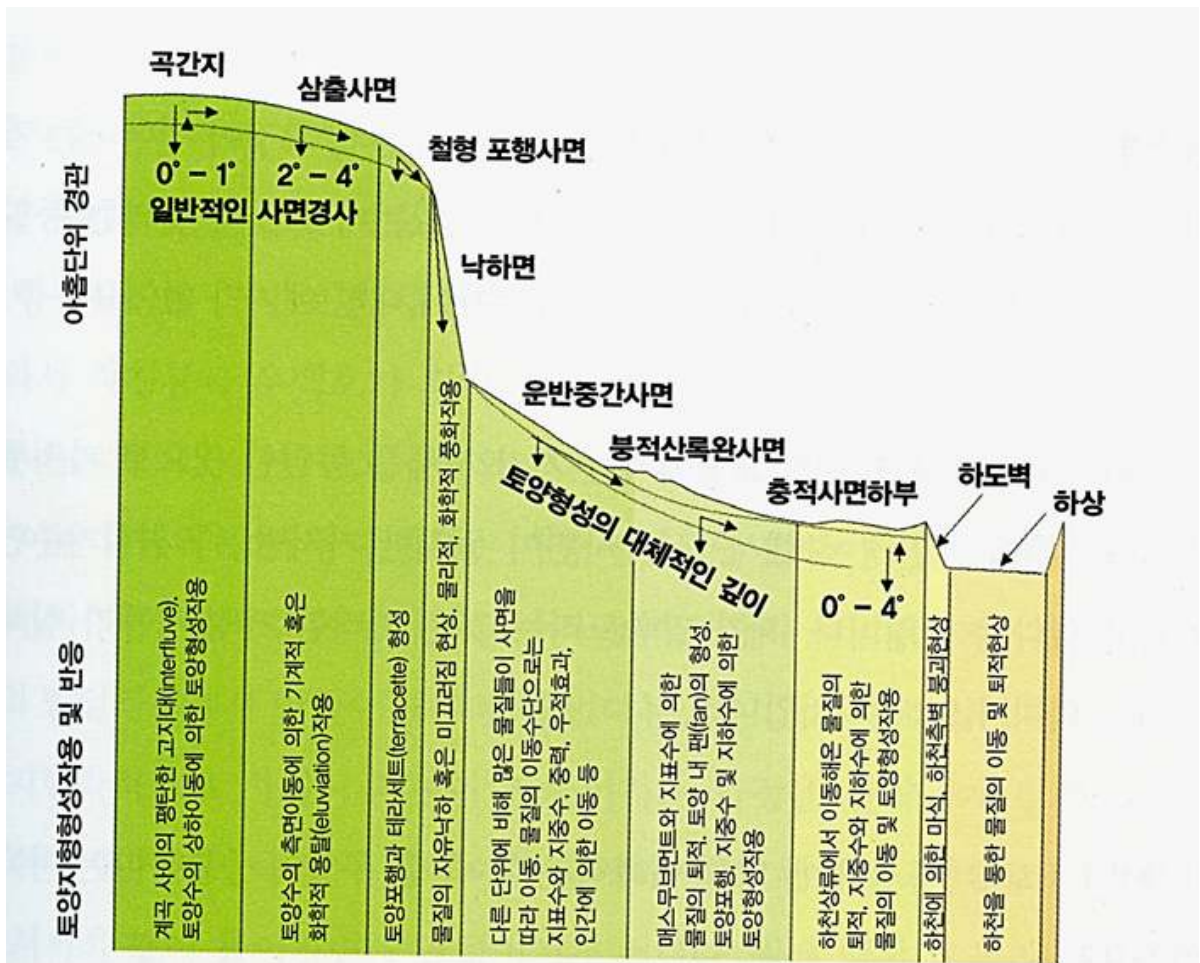


그림 4 Nine-unit Landscape Model(Conacher and Darlymple, 1977)

카테나 개념에 대한 이론화 모형 중 가장 많이 알려진 연구는 “9개의 사면 경관단위 모형(Nine-Unit Landscape Model)일 것이다. 이는 호주의 지형학자 Conacher와 영국의 토양학

자 Darlymple에 의해 1968년 처음 제안되었으며, 1977년에 수정된 지형분류 모형이다 (Darlymple et al., 1968; Conacher and Darymple, 1977). 이는 지형 형태와 그에 따른 물질의 흐름, 그리고 그 결과로 형성되는 토양을 종합적으로 고려한 모형이다. 또한 해당 모형은 자연적 상태에서 생성 원인에 따른 특징적인 사면형태가 존재하고 있으며, 각종 지형형성 및 변화 작용들은 대부분 지표의 형태적 특성과 공간적인 상관성에 의해 결정되고, 지표면에 발달하는 토양 특성은 지형면의 특성으로부터 효과적으로 유추할 수 있다는 전제에 기반을 둔 모형이다(박수진, 2004). 이는 당시 지형학계에서 활발히 논의되고 있던 지형의 진화에 따른 일반사면(normal slope)의 개념을 효과적으로 정리하였으며, 사면상의 토양특성과 접목시켰다는 점에서 높은 평가를 받았다(Parsons, 1988; Gerrad, 1992; 박수진, 2004). 따라서 지형학과 토양학의 많은 분야에서 토양예측 분야에서 많이 사용되어 왔다.

9개의 사면 경관단위 모형은 토양-지형의 관계에 대한 개념모형으로서는 매우 훌륭하지만, 지표현상과 이에 대한 토양형성작용을 정성적으로 기술하는데 불과하다는 한계가 있었다(박수진, 2004). 또한 이 모형은 2차원적인 사면의 형태만을 기술하였기 때문에 실제의 3차원 지표형태를 적용하는 방안을 고려해 볼 필요가 있었다.

Park et al.(2001)이 개발한 카테나(Catena) 분석방법은, 9개 사면 경관단위 모형이 가지는 한계를 극복하기 위한 정량적·3차원의 지형단위 구분 모형이다. 이 방법은 수치고도모형(Digital Elevation Model)을 이용하여 물과 물질의 이동(사면유역지수) 및 이에 영향을 주는 사면의 형태를 나타내는 지형지수를 도출하고, 이를 바탕으로 사면경관단위를 구별함으로써 정량적인 지형-경관단위 구분을 수행하였다.

사면유역지수(Upslope Contributing Area, As)는 사면의 한 지점으로 유입될 수 있는 물질의 양을 추정하는 지형변수로, 수치고도모형에서는 한 지점으로 물이 공급될 수 있는 상부의 면적을 뜻하며 이는 아래 식과 같다.

$$As = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^n \rho_i A_i$$

이 식에서 A_i 는 한 격자의 면적을 말하며, n 은 셀 i 로 들어가는 상부격자들의 수를 뜻하고, ρ_i 는 유수가 이루어지는 정도를 표시하는 상수이며 b 는 셀의 크기에 의해 추정되는 등고선의 폭(contour width)을 말한다.

사면곡면율(Surface Curvature, Cs)는 사면의 물질이동에 미치는 형태의 영향을 추정하는 변수로, 이를 위해 기존에 사용하던 사면경사도가 2차원적인 형태만 나타낸다는 한계를 극복하기 위해 Park et al.(2001)이 개발한 3차원적 지형 변수이다. 이에 대한 식은 아래와 같

다.

$$Cs_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{(Z_i - Z_j)}{d_{ij}}}{n}$$

i지점의 Cs값은, 우선 주변의 셀의 고도값(Zj)과 I지점의 고도값(Zi)의 차이를 이들 간의 거리(dij)로 나누어 합한 후, 전체 셀의 개수를 나누어(n) 계산한다. 사면곡면율은 주변의 3개 셀1), 5개 셀2) 7개 셀3) 등 다양한 주변 셀(격자)을 이용하여 계산할 수 있으나, 대체로는 5개 셀이나 7개 셀을 사용하는 경우가 많다.

이렇게 도출된 지수를 바탕으로 각 지형단위를 추출할 수 있으며 이는 그림 5와 같다, 지형구분에는 9개 사면 경관단위 모형을 지형-토양 상관관계 도출과 한반도의 생태특성에 맞게 단순화 및 발전시킨 7개 사면지형 구분 방식을 사용하였으며, 이에 따른 토양 및 지형 형성작용, 토양형태, 토지이용상의 문제점은 표 4와 같다.

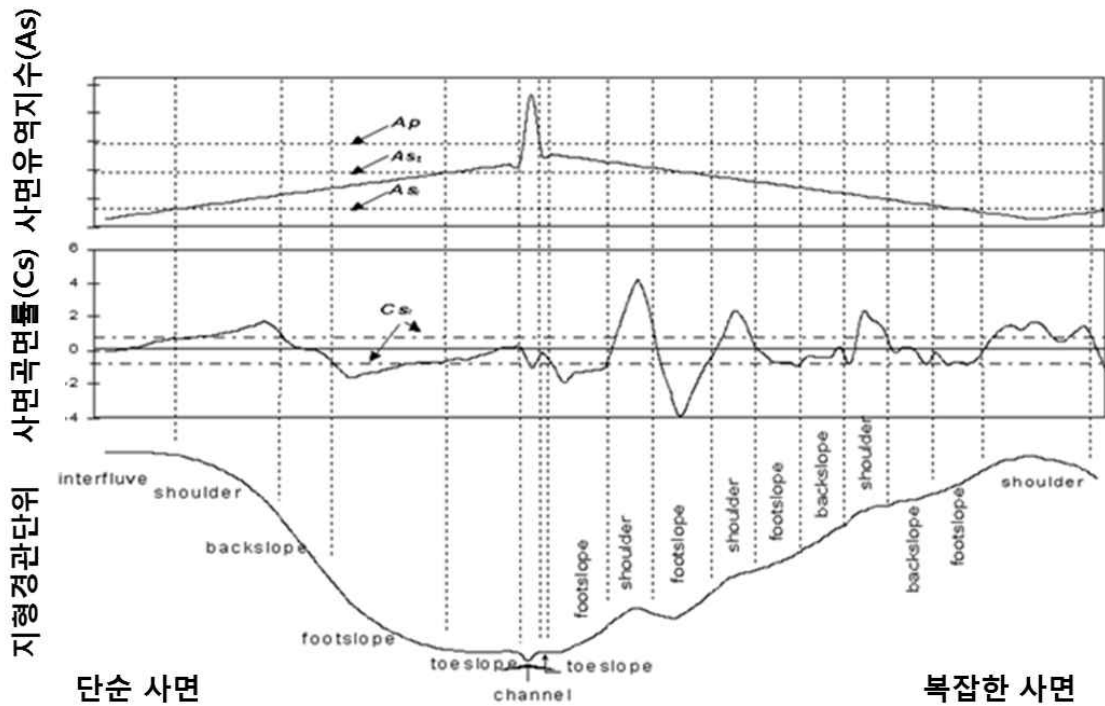


그림 5 지형분석을 통한 토양-지형단위 추출과정의 모식도

사면유역지수와 사면곡면율에 따라 이를 분류하는 구체적인 방법은 그림 6과 같다. 먼저

- 1) 3 × 3 셀, 자기 자신을 제외한 주변의 8개 셀
- 2) 5 × 5 셀, 자기 자신을 제외한 주변의 24개 셀
- 3) 7 × 7 셀, 자기 자신을 제외한 주변의 48개 셀

사면유역지수는 변화가 크기 때문에 상용로그로 치환하여 사용하는 경우가 일반적이다. x축에 상용로그를 취한 사면유역지수, y축에 사면곡면율을 넣고 산점도를 그리면 그림 6과 같은 패턴의 산점도가 도출된다. 먼저 지형 구분자 a는 사면유역지수의 최저값에서 사면유역지수-사면곡면율의 음의 관계가 나타나기 시작하는 지점이며, 지형 구분자 b는 사면유역지수-사면곡면율의 음의 상관관계가 끝나는 지점이고, 지형구분자 c는 대체로 사면유역지수의 수치가 높은(대체로 5 이상)의 지점이다. 지형구분자 d는 사면곡면율을 구별하는 지표인데, 사면유역지수 표준편차의 절반으로 계산한다. 이 지형구분자에 따라 사면지형단위를 분류하는 방법은 그림 7과 같다.

표 4 이 연구에서 사용된 토양지형단위와 각 토양지형단위에서는 지형 및 토양형성작용, 토양형태, 토지이용상의 문제점

토양지형 단위	토양 및 지형형성작용	토양형태	토지이용상의 문제점
산정 (Summit)	<ul style="list-style-type: none"> 수직용탈작용 활발한 침식 및 삭박작용 	<ul style="list-style-type: none"> 얕은 토양층 혹은 암석노출지 	<ul style="list-style-type: none"> 강한 바람으로 인한 피해 토양 내 토양물질 및 영양염류의 결핍
산복상부 (Shoulder)	<ul style="list-style-type: none"> 활발한 침식 및 삭박작용 지중수로 인한 용탈현상 	<ul style="list-style-type: none"> 토양층의 발달이 미약 토양다짐현상 	<ul style="list-style-type: none"> 토양내 영양염류 용탈 사면불안정 악지 형성 토양수분 부족 높은 토양밀도
산복 (Backslope)	<ul style="list-style-type: none"> 물질의 유입과 유출의 균형 지표수 및 지중수, 그리고 사면이동에 의한 물질이동 	<ul style="list-style-type: none"> 잘 발달되고 깊은 토양층 토양밀도가 상대적으로 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> 높은 침식가능성 우곡 형성 급경사 사면의 변형이 쉽게 발생
산복하부 (Footslope)	<ul style="list-style-type: none"> 상부에서 이동된 물질의 이동집적 사면붕괴 지중수 합류 	<ul style="list-style-type: none"> 깊은 토양층 이질적인 토양모재 토양하부의 환원작용 토양 내 결반층 형성 	<ul style="list-style-type: none"> 토양하부에 환원작용
산록 (Toeslope I)	<ul style="list-style-type: none"> 사면상부의 물질의 이동 산지하천의 특성 지중수 합류 	<ul style="list-style-type: none"> 암설중심으로 토양발달 미약 지표포화 	<ul style="list-style-type: none"> 토석류발생 일반적인 경작이 어려움 침출수 혹은 산간하천형성
침식곡간지 (Toeslope II)	<ul style="list-style-type: none"> 하천범람에 의한 하천퇴적물의 집적 지하수에 의한 환원작용 	<ul style="list-style-type: none"> 깊고 이질적인 토양 토양층 발달 미약 환원작용 	<ul style="list-style-type: none"> 지표수 혹은 지하수에 의한 수분포화 탈질작용
하천 (Channel)	<ul style="list-style-type: none"> 하천에 의한 침식 및 퇴적 	<ul style="list-style-type: none"> 하각작용 하천의 측방침식 	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 하천에 의한 하도침식

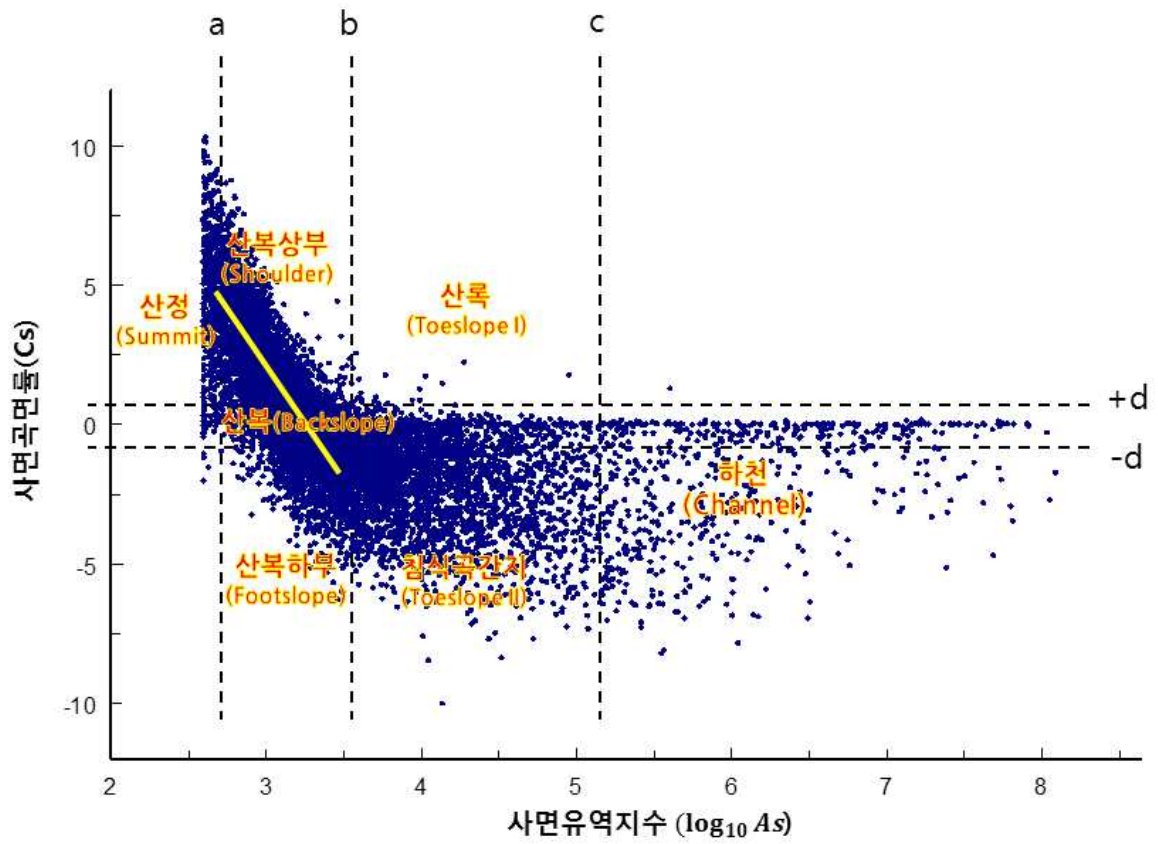


그림 6 지형분류 기준자 도출(a,b,c,d)을 위한 산점도 예시

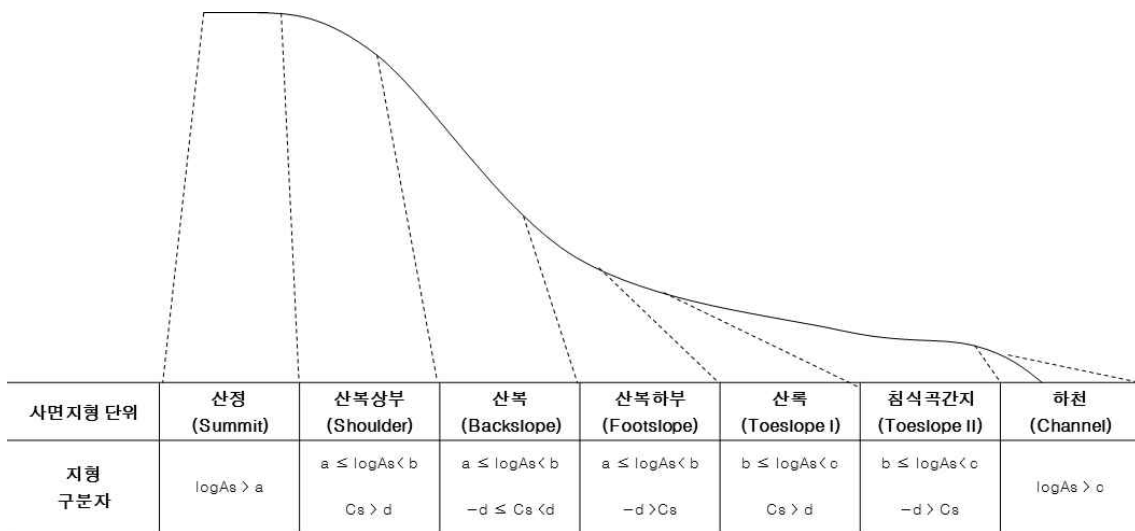


그림 7 지형구분자에 따라 사면이 나타나는 2차원적인 위치

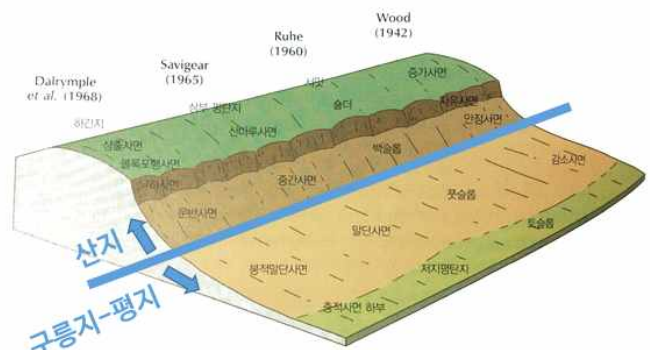
2.1.4 산지 및 구릉지-평지 분류법

특정 지형이 산지로 분류되는지, 평지로 분류되는지에 따라 지형 형성작용과 프로세스에는 차이가 있으며, 이에 영향을 받는 토양에도 차이가 있다. 때문에 산지 및 구릉지-평지의 지형단위 구분방법은 핵심적인 부분으로, 기존의 산림입지토양도와 농업토양도에서도 산지 및 구릉지-평지를 구별하는 방법이 존재해 왔다.

현재 산림입지토양도 제작과정에서 지형단위에서 산지는 산정-산록-산복으로 구분되며, 평지-구릉지는 평단지-완구릉지로 구분된다. 하지만 이는 조사지의 전체적인 위치적 특성을 나타내었으며, 조사자의 주관에 기반하여 구분한 구분법으로 정밀한 토양조사의 기초정보를 제공하는 데는 한계가 있으며 북한에 적용하는 것 또한 어려움이 있다. 농업토양도에서는 현장조사를 통해 지형을 10개로 나누어 분류하고 있다. 하지만 이 분류법은 형태적 특성과 성인적 특성을 혼재하여 사용하고 있어, 그 특성을 정확하게 파악하기 어렵다. 뿐만 아니라 지형구분에 정량적인 근거를 제시하고 있지 못하다는 한계를 가진다. 따라서 산림입지토양도와 농업토양도에서의 산지와 평지의 지형분류가 아닌, 한반도 전역에 걸쳐 객관적으로 산지와 구릉지-평지를 구별해 낼 수 있는 분류방법이 필요하다.



출처: www.jirilm.com



출처: 윤순옥 등 역(2013)을 일부 수정

그림 8 한반도 지역의 일반적인 속성(좌)와 설문조사 결과(우)

하지만 한반도의 지형에는 한반도 주변 국가에서는 보기 힘든 평지와 산지의 중간 형태의 완만한 경사를 가진 산록완사면이 산지와 평지 사이에 존재하며, 이는 산지와 평지를 구분하기 어렵게 만든다(박수진, 2009; 2014)(그림 8의 왼쪽). 따라서 한반도에서 산지와 구릉지-평지를 나누는 것은 어려운 일이었다. 따라서 2015년 연구에서는 지형 및 토양전문가를 대상으로, 여러 가지 지형-경관 단위 중 어느 지형면이 산지의 특성을 더 많이 띄고, 어떤 지형면이 구릉지 또는 평지의 지형 특성을 띄는지를 확인해 보았다(한국임업진흥원, 2015).

그 결과, 그림 8의 오른쪽에 위치한 부분이 산지와 구릉지-평지를 나누는 가장 좋은 기준으로 도출되었다.

위 결과를 바탕으로 산지-구릉지를 나누기 위해서는, 먼저 산지와 구릉지-평지는 그 지역이 가지는 환경적 속성과 프로세스에 따라 달라지기 때문에, 이것이 반영되는 환경 단위인 유역별로 나누어 계산하여야 한다는 전제를 둘 필요가 있다. 이를 바탕으로, 산지와 구릉지-평지를 구별하기 위해 많이 사용하는 경사도에 대한 빈도값을 계산하면 그림 9과 같은 쌍봉 형태의 구조로 도출된다. 이는 퇴적작용으로 물질 유입이 유출보다 우세하여 형성된 산지 하부의 완경사면과, 침식작용이 활발하여 유출이 유입에 비해 우세한 급경사면의 경사도 차이가 반영된 것이다. 따라서 완경사면으로부터 급경사면으로 사면형태가 전환되는 쌍봉구조의 사이의 지점이 산지와 구릉지-평지를 프로세스적으로 분류하는 최적 경사도라고 할 수 있다.

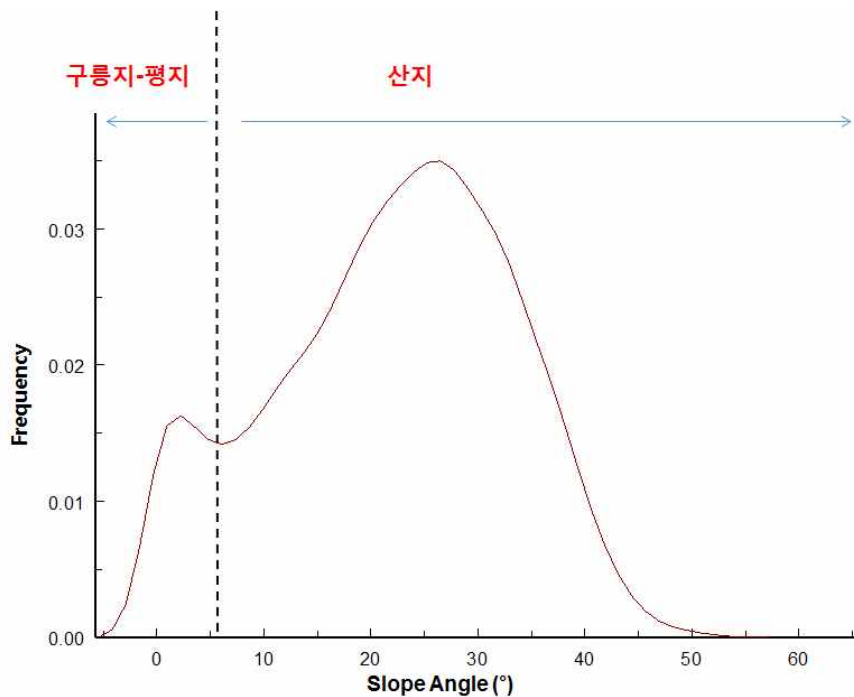


그림 9 한반도 유역의 일반적인 경사도 빈도분포 현황

하지만 최적경사도라는 단일변수로 산지와 비산지를 구별하는 것은 경사도가 분포하는 지형적 위치의 다양성을 반영하지 못하기에 구조적인 오차를 포함하게 된다. 이를 해결하고자 이 연구에서는 단면곡면율(Profile Curvature)을 이용하여 보정을 진행하였다.

$$C_p = \frac{(\nabla S \cdot \nabla f)}{-S}$$

단면곡면율이란 가장 가파른 사면방향의 단면을 따라 표현되는 곡면율로 특정 좌표지점의 사면경사 ∇S 에 $\nabla f/S$ 로 표현되는 특정 좌표의 하방 단위벡터와의 조합으로 표현된다. 또한 수치고도모형 상의 오류가 발생할 수 있기 때문에 분류된 산지의 면적이 1ha가 넘지 않는 경우 구릉지-평지로 재분류한다.

2.2 북한 산지토양 예측방법

앞서 설명했던 이론적 배경을 기반으로, 이 절에서는 2015년 개발하였던 알고리즘을 중심으로 북한 산지토양 예측방법의 기술적 부분을 설명한다.

2.2.1 다계층적 환경변수 추출

토양형성에 미치는 각각의 환경요인들은 스케일에 따라 그 중요성이 달라진다. 각 환경요인들이 가지고 있는 이러한 공간적 스케일을 세미베리오그램(semivariogram) 분석을 통해 진행하였다. 그 결과는 거리 순으로 기후요인, 식생요인, 토지이용요인, 지질요인, 기복요인, 사면형태요인 순이다⁴⁾. 이를 바탕으로 도출한 토양예측을 위한 환경변수는 다음 표 5와 같다. 이를 바탕으로 환경자료를 결합하여 북한토양 예측을 위한 기초자료에 대한 분석을 진행하였다.

표 5 토양형성환경의 공간적 의존성 및 다계층성 추출을 위한 세미베리오그램(semivariogram) 분석결과

토양형성요인	사용지표	range(km)	silt	nugget	objective
기후요인	평균기온, 평균강우량, 평균증발산량의 평균	361.0	21942.7	255.1	146.2
식생분포	2000-2001 NDVI	138.9	16.9	19.8	24.1
토지이용	UNEP 토지피복도	106.9	0.2	0.2	0.0
지질요인	1:1,000,000 지질도	61.7	0.3	0.3	0.0
기복요인	경사도	4.5	0.0	0.0	0.0
사면형태요인	사면곡면을 사면유역지수 등의 평균	0.65	0.2	0.0	0.0

4) 세부내용 한국임업진흥원(2015) 참조

뒤 내용에서는 추출된 환경변수를 바탕으로 토양예측을 위한 기초적인 자료를 도출하는 과정을 설명한다. 이는 토양형성요인의 스케일 순서대로 기후, 식생, 토지이용, 지질요인, 기복요인, 사면형태요인의 순서대로 설명하며, 기복요인과 사면형태요인을 설명하기 전에는 수치고도모형의 토양형성에 대한 내용을 설명한다. 그 후 이 자료들을 결합하여 구축한 토양예측을 위한 환경변수를 도출하는 순서대로 기술한다.

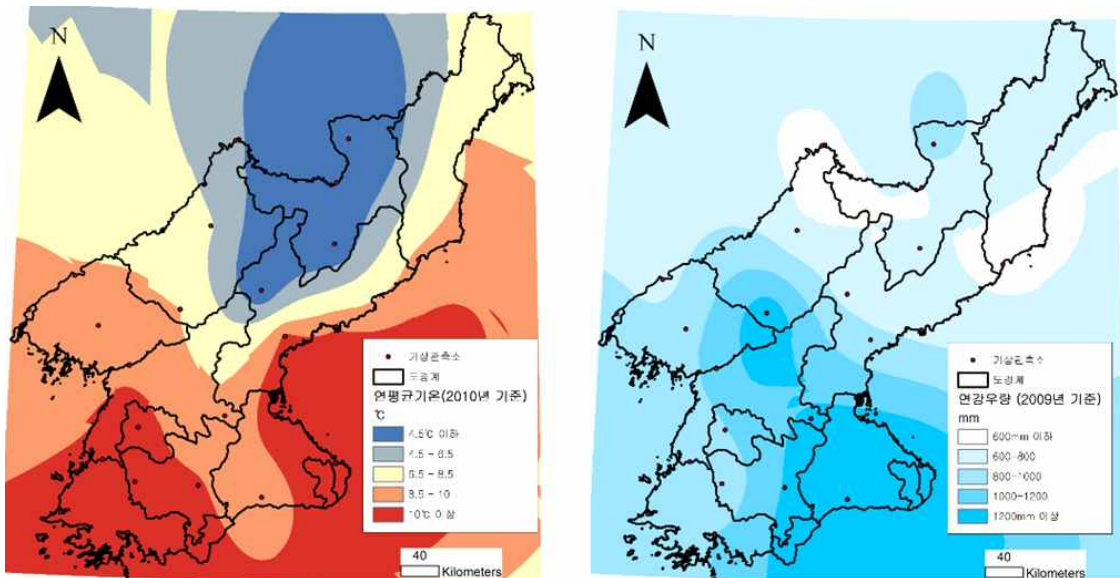


그림 10 북한에 기후요인에 사용된 자료 예시, (좌) 기온(2010), (우) 연강수량(2009)

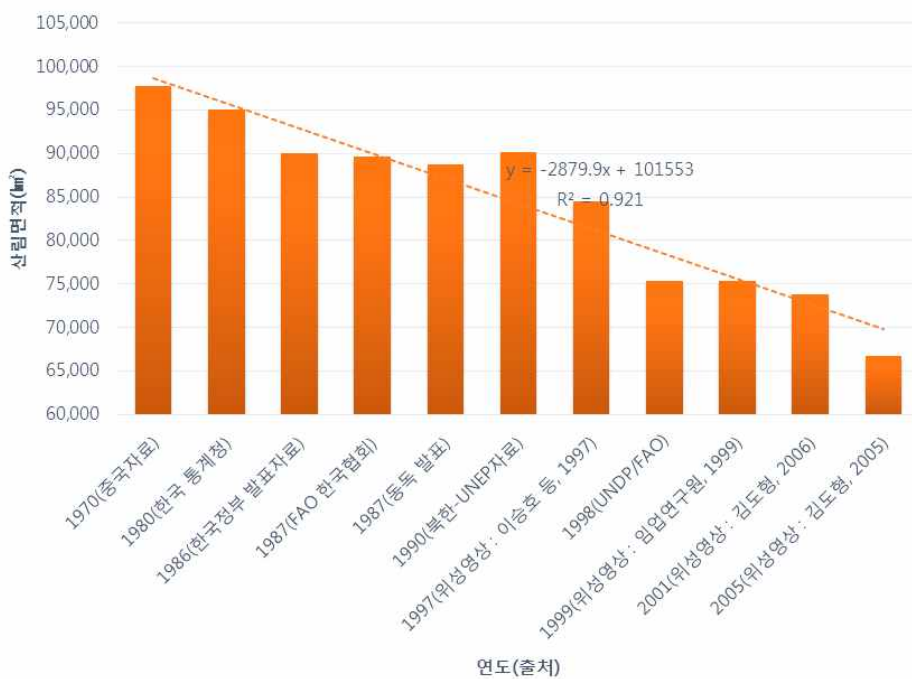


그림 11 북한의 산림면적 변화 현황(안유순, 2013)

2.2.2 기후요인

기후요인은 기상청 국가기후데이터센터⁵⁾에 있는 자료를 활용하여(그림 10) 쾨펜(Köppen)의 기후 구분으로 구분한 후, 한국에서는 발견되는 형태를 온대⁶⁾로, 그렇지 않은 형태의 기후를 냉대⁷⁾로 분류하였다.

2.2.3 식생분포-토지이용 요인

식생지수 및 토지이용은 이 연구에서 반영할 수 있었지만, 환경부의 대분류 토지피복도, 2015년 한국임업진흥원 연구결과의 신뢰도에 대해서 정밀한 연구가 필요하고, 현재 수준에서는 토지이용 까지 반영할 필요가 없을 것으로 판단하여 우선 제외하였다. 하지만 필요한 경우 토양예측에 토지이용요인이 반영될 수 있도록 환경부 토지피복도와 관련 문헌자료(그림 11)에 대한 수집을 지속적으로 진행하여 왔다.

2.2.4 지질 요인

지질요인은 남북한 학자들이 공동 연구하여 발표한 한국지질자원연구원에서 제공하는 1:1,000,000 지질도를 이용하여 분석하였다(그림 12 왼쪽). 지질도에는 49개의 시기별 암석이 표기되어 있지만, 토양조사 및 예측 과정에서는 이렇게 많은 분류 기준자는 의미가 없기 때문에, 토양조사에서 많이 사용하는 형태인 화산암, 심성암, 퇴적암(석회암/화산쇄설물 제외), 석회암, 변성암, 화산쇄설물로 구분되는 토양지질도로 변환하는 것이 타당하다고 판단하여 그렇게 진행하였다(그림 12 오른쪽, 표 6의 “산지 구분 기준”).

5) <http://sts.kma.go.kr>

6) C, Dfa, Dfb, Dwa

7) Dwb, Dwc

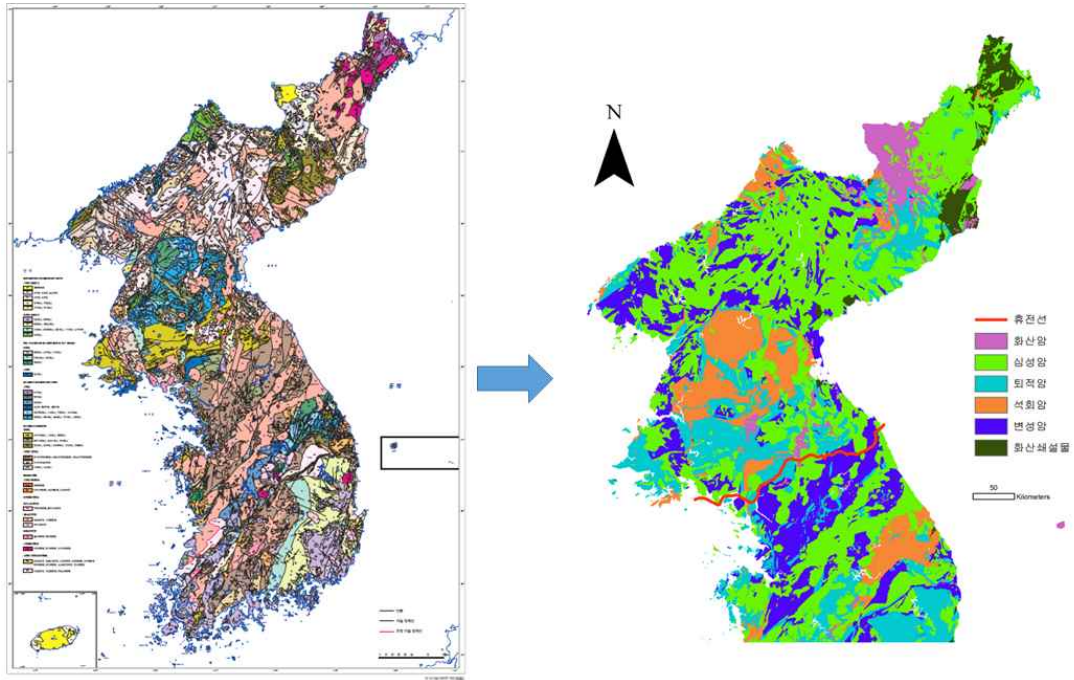


그림 12 (좌)1:1,000,000 지질도와 (우)토양지질도로의 변환

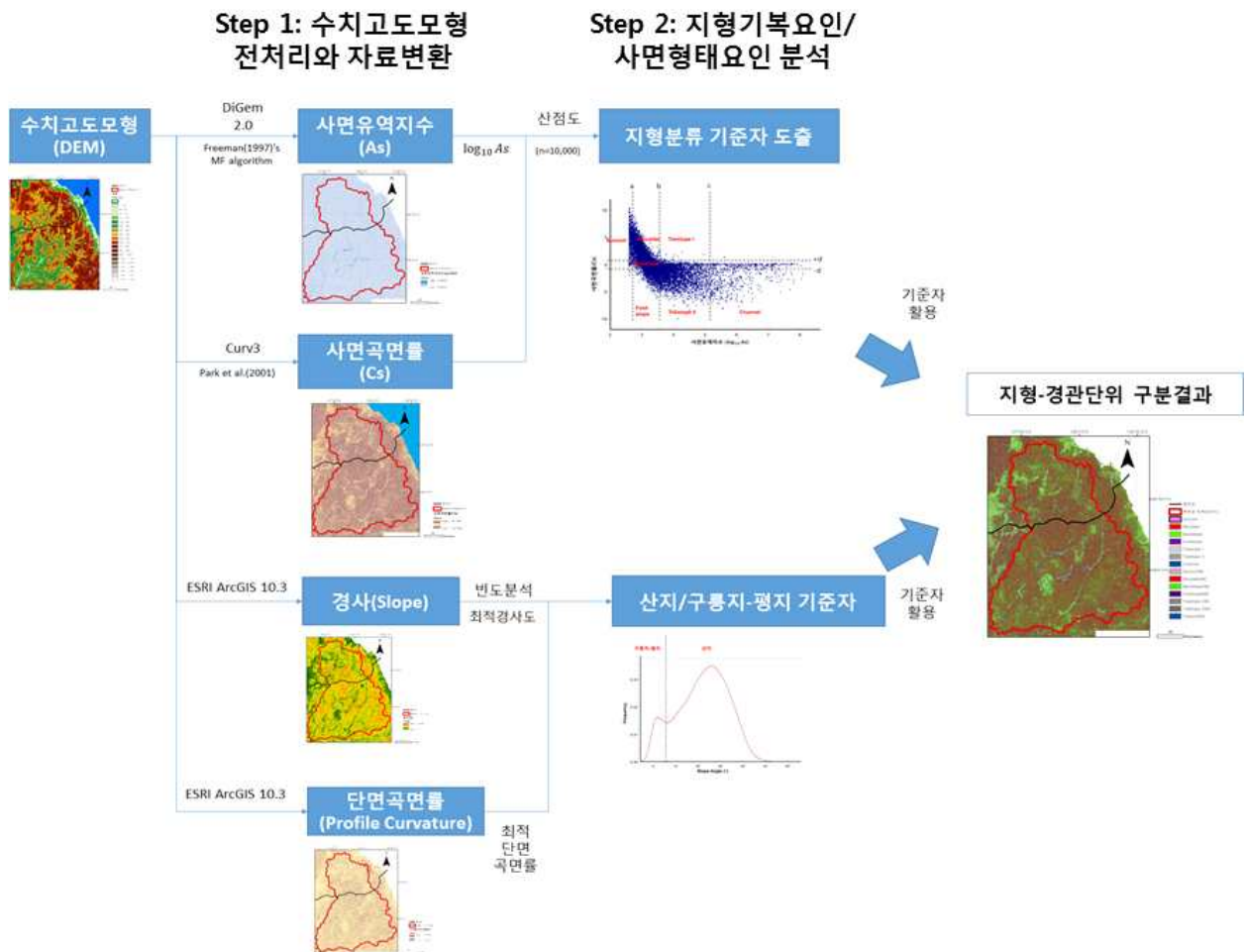


그림 13 지형기복요인/사면형태요인 분석을 위한 수치고도모형 전처리 및 이후 분석절차

2.2.5 지형기복요인/사면형태요인 분석을 위한 수치고도모형 전처리와 자료변환

앞서 설명한 환경요인중 지형기복요인과 사면형태요인을 도출하기 위해서 수치고도모형을 사용할 필요가 있다. 수치고도모형은 미국 지질조사국(United States Geological Survey; USDA)에서 제공하는 SRTM(Shuttle Rader Topography Model) 1 arc-second자료를 이용하였다. 이 자료의 해상도는 27~28m 가량으로, 본 연구의 연구방법의 전체적으로 15~50m 해상도를 가지는 수치고도모형이 가장 적합한 해상도를 가진다는 선행 연구의 결과에 미루어 보았을 때 최적 스케일이라 볼 수 있다(Park et al., 2005). 또한 유사한 해상도를 가진 Aster GDEM 등 유사 영상에 비해서는 과대측정, 이상측정, 특정 패턴 관측 등의 결과가 적다는 강점을 가진다(한국임업진흥원, 2015). 따라서 이 연구에서는 위 수치고도모형을 사용하였다.

연구의 정확도를 향상시키기 위해서는 수치고도모형에 대한 가공 작업이 필요했다. 먼저 도엽 단위로 이루어져 있는 SRTM 영상 중 연구지역을 포함하는 모든 도엽의 영상을 내려 받아 이를 결합(Mosaic)하였다. 다음 과정은 원자료의 해상도를 30m로 변환하는 작업이었다. 정확하게 떨어지지 않는 실수값의 해상도를 가지는 이 수치고도모형을 그대로 사용할 경우, 오류가 발생하는 경우가 있었다. 따라서 해상도를 다른 자료와 호환될 수 있는 해상도인 30m의 정수값으로 변환하는 과정을 수행하였다. 이를 위해서 다양한 리샘플링(Resampling) 방법을 확인한 결과 이중선형 리샘플링(Bilinear Resample) 방법이 가장 타당하다고 여겨졌다. 또한 이 모형은 결측치(null value)가 중간에 포함되어 있다는 문제가 있어, 유사한 해상도인 Aster GDEM으로 빠진 값을 채우는 형태로 보정을 진행하였다. 마지막으로, 분석은 유역 단위로 진행한 후 다시 합치는 방식으로 진행하였는데, 유역 단위로 분석 진행시 유역 단위보다 크게 잘라서 분석을 진행한 후 합칠 때는 외곽을 잘라서 합치는 형태로 진행하였다. 그 이유는 분석 단계 중 발생할 수 있는 경계 효과(edge effect)를 제거하기 위함이었다⁸⁾.

이렇게 변환된 지형변수를 사면형태요인과 지형기복요인을 분석하기 위한 기초자료로 가공하였다. 먼저 사면유역지수(As)는 수치고도모형을 이용한 지형분석 전용 도구인 DiGeM 2.0 프로그램을 사용하여 계산하였다(Conrad, 1998). 이 때, 한국의 지형에서는 Freeman(1991)이 개발한 다중흐름법(multiple flow algorithm)으로 사면유역지수를 계산하는 것이 타당하다고 판단하여 이 방법을 활용하였다. 또한 앞서 설명하였듯 사면유역지수는 값의 폭이 커 Esri ArcGIS 10.3을 통해 상용로그로 변환하였다. 사면곡면율(Cs)는 Park et

8) 세부적인 내용은 한국임업진흥원(2015) 참조

al.(2001)이 포트란(Fortran)으로 짠 프로그램을 이용하여 계산하였다. 경사도 및 단면곡면율의 경우 Esri ArcGIS 10.3으로 계산하였다.

2.2.6 지형기복 요인

지형기복요인은 앞서 설명한 산지/구릉지-평지 구별방법을 적용하였다. 먼저 분석 영역을 대상으로 경사도와 단면곡면율을 계산하였다. 그 후 마찬가지로 분석 영역에 임의의 표본 지점을 10,000개 설정하였다. 그리고 이를 통계 프로그램(Excel, SPSS 등)으로 불러 온 후 경사도에 대한 빈도분석을 통해 쌍봉구조 사이에 있는 최적경사도를 추출하였다. 도출된 최적경사도 중 최적 단면곡면율(단면곡면율 표준편차보다 큰) 이상인 값을 산지로 구분하였으며, 그 이외의 값을 구릉지-평지로 구분하였다. 만일 산지로 구분된 면적이 1ha를 넘지 못하는 조각의 경우 구릉지-평지로 재구분하는 과정을 통해 수치고도모형 상의 오류를 보정하고자 하여 산지와 평지-구릉지를 구별하였다(그림 13 Step 2).

2.2.7 사면형태 요인

사면형태요인 분석은 앞서 설명한 Park et al.(2001)의 카테나 토양-경관분석법을 사용하였다. 먼저 분석 영역을 대상으로 사면유역지수와 사면곡면율을 계산한 값을 바탕으로, 분석 영역에 임의의 표본 지점을 설정한 후, 설정된 표본 지점의 사면유역지수와 사면곡면율의 표본을 추출하는 과정으로 진행하였다. 마지막으로 추출된 지수들을 산점도로 그려 경향을 파악하였으며, 이를 바탕으로 사면형태요인을 반영하는 사면단위 지형분류를 수행하였다(그림 14, 표 6의 “사면유형 분석 기준수치”)

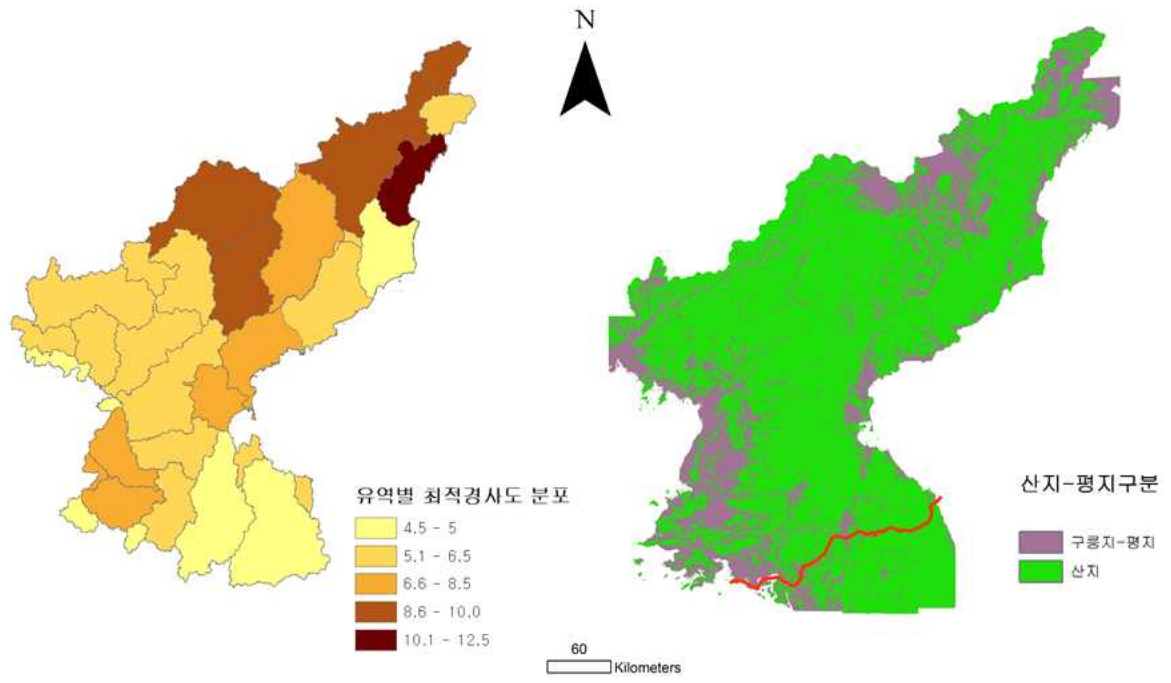


그림 14 유역별 최적경사도 분포 및 산지-평지 구분결과

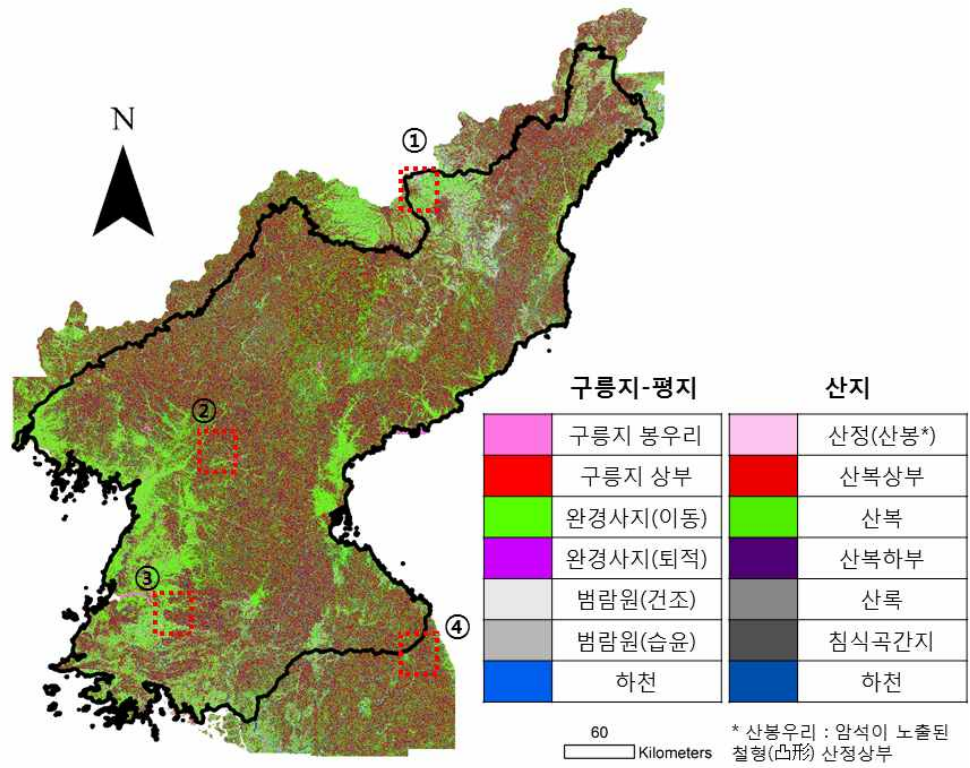
2.2.8 토양형성단위의 구분

지형기복요인과 사면형태분류 결과를 합하여 총 14개(지형기복요인 2개, 사면형태분류 7개)의 분류로 결과를 도출하였으며, 그 기준자는 표 6, 결과는 그림 15와 같다. 그림 15 결과를 살펴보았을 때, 산지의 윗부분을 나타내는 산정(Summit)과 산복상부(Shoulder) 부분이 적색을 띠고 있고, 평지 및 구릉지에는 대체로 산록부로 분류가 되는 분석결과의 일반적인 경향에 미루어, 산지의 분포 형태와 도출 결과가 일치함을 가시적으로 확인할 수 있다. 특히 확대된 결과를 통해 각 구분 결과들이 각 지역의 지형적 특성을 잘 반영함을 확인할 수 있다.

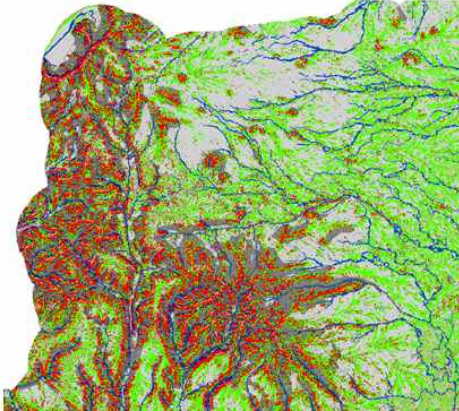
표 6 유역별 지형기복요인과 사면형태분류 기준수치 도출 결과

유역명	Catena 사면유형 분석 기준수치				산지 구분 기준	
	a	b	c	d	산지기준 경사도(θ°)	profile curvature (pCs) 1STD
NK1	3.03	3.8	5.5	0.71	10	0.27
NK2	3.05	3.8	5.3	0.73	5.5	0.31
NK3	3	3.8	5.4	0.89	10	0.33
NK4	3.1	4.15	5.6	1.13	9.5	0.41
NK5	3.05	3.90	5.15	1.31	6	0.44
NK6	3.10	4.05	5.55	0.86	8.5	0.34
NK7	3.05	3.90	5.15	1.24	6	0.44
NK8	3.05	4.00	5.80	1.28	5.5	0.44
NK9	3.1	4.6	5.6	0.98	9	0.36
NK10	3.05	4.1	4.9	0.85	6	0.3
NK11	3.1	4.1	4.9	1.1	6	0.38
NK12	3.05	4.1	4.8	1.2	5.5	0.43
NK13	3.1	4	4.7	1.32	7.5	0.51
NK14	3.05	4.1	4.9	1.2	6.5	0.46
NK15	3	4.05	4.7	1.42	6.5	0.57
NK16	3	4.1	4.7	0.58	7.5	0.21
NK17	3	3.9	4.5	0.77	8	0.28
NK18	3.01	3.9	5.6	0.83	8	0.32

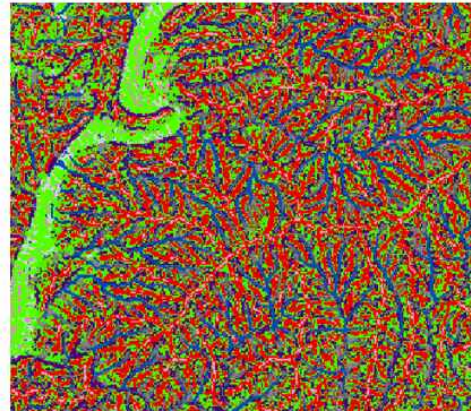
유역명	Catena 사면유형 분석 기준수치				산지 구분 기준	
	a	b	c	d	산지기준 경사도(θ°)	profile curvature (pCs) 1STD
NK19	3.1	4	5.9	1.07	5.5	0.43
NK20	3.1	4	5.3	1.13	5	0.43
NK21	3.1	4.1	5.8	1.32	4.5	0.48
SE1	3.1	3.7	5.4	1.28	12.5	0.41
SE2	3.1	3.8	5.8	1.17	4.5	0.44
SE3	3	4.1	5.1	1.31	6.5	0.51
SE4	3	4.1	5	1.18	7	0.44



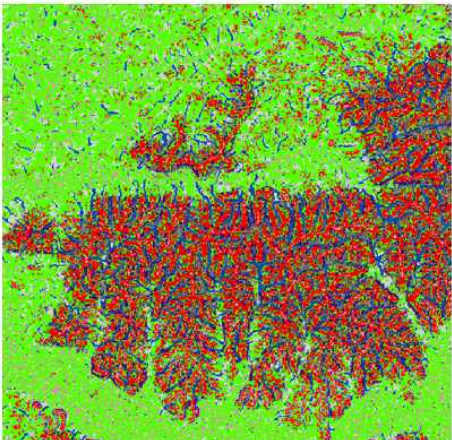
① 백두산 일원



② 묘향산 주변



③ 사리원 주변



④ 해안분지 주변

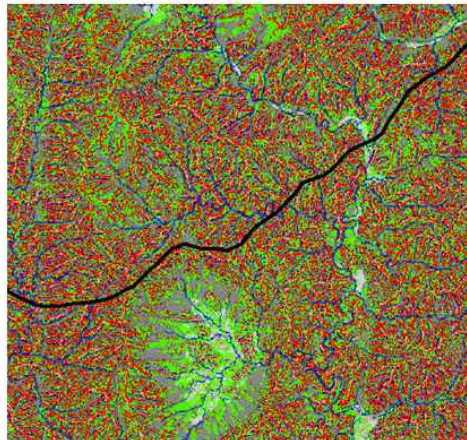


그림 15 사면단위 지형분류 결과

표 7 각 사면단위 구분이 북한일대에서 차지하는 면적비

산지/평지구분	지형경관구분	면적비(%)	산지/평지구분	지형경관 구분	면적비(%)
구릉지-평지	구릉지 봉우리	2.31	산지	산정(산봉)	2.29
	구릉지 상부	1.29		산복상부	20.41
	완경사지 (이동)	12.18		산복	22.39
	완경사지 (퇴적)	0.87		산복하부	11.39
	범람원(건조)	4.80		산록	6.37
	범람원(습윤)	1.18		침식곡간지	10.09
	하천	1.44		하천	2.99
	합계	24.08		합계	75.92
총계					100.00

북한 전역을 대상으로 도출된 세부적인 결과인 표 7을 살펴보면, 먼저 산지로 구분된 북한의 면적비는 약 76%를 차지하며, 구릉지-평지로 구분된 지역은 약 24%에 불과함을 확인할 수 있다. 산지로 구분된 지역 중 산복상부(Shoulder)와 산복(Backslope)의 합이 북한 전역 면적에서 42% 가량을 차지하는 높은 결과가 초래되었다. 카테나 지형분류 결과와 남한의 산사태 발생자료와의 비교분석을 진행하였던 이수연 등(2015)의 연구에 따르면 이 두 지형경관단위는 산사태의 취약성이 높은 지역이라는 점에서, 이 결과는 북한의 산사태 발생의 위험성을 시사하는 결과라 할 수 있다. 뿐만 아니라, 이 두 지형단위는 사면 물질이동이 많이 일어나는 구간으로 이와 관련된 토양형성조건이 우세할 수 있음을 확인할 수 있다.

이렇게 도출한 지형단위들을 앞서 도출한 환경자료를 결합하여, 토양예측을 위한 기초자료로 쓰일 수 있는 토양형성단위(지형-지질-경관-기후단위)를 구분하였으며, 결과는 그림 16과 같다. 이 결과에서 천의 자릿수는 기후를 나타내며, 백의 자릿수는 지질, 십의 자릿수는 지형기복, 일의 자릿수는 사면형태를 나타낸다. 이 결과를 활용하여 토양예측에 반영하였다.

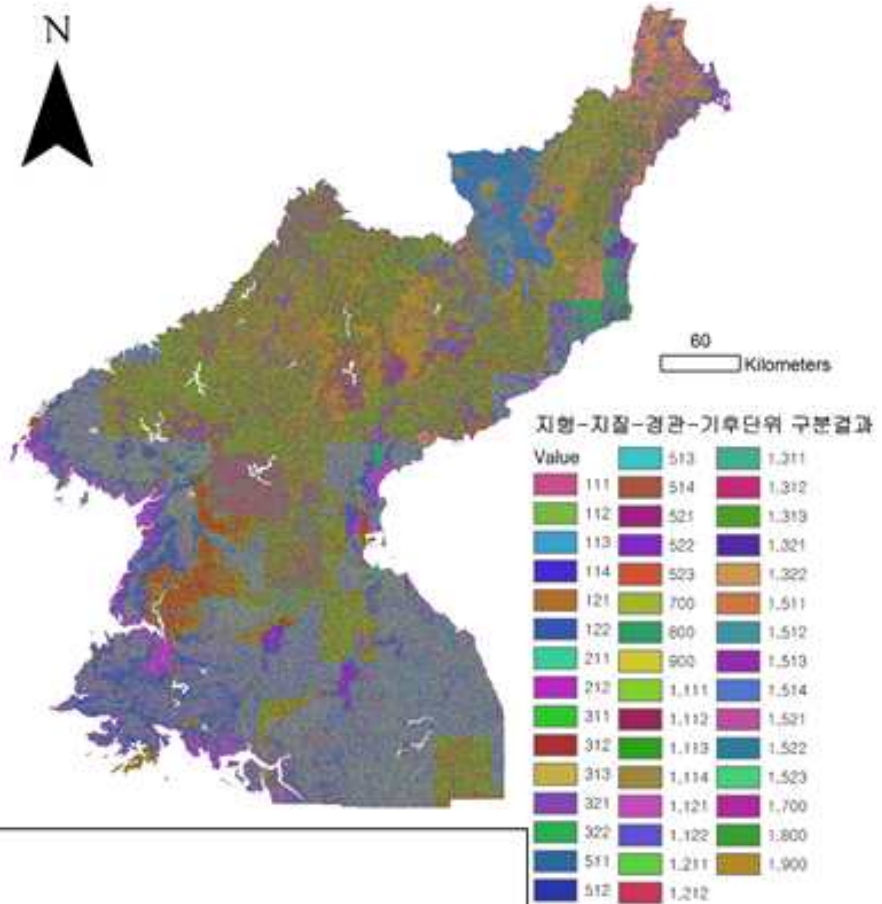


그림 16 토양형성단위 구분결과

2.3 북한 산지토양 예측 알고리즘 개선

이 절에서는 앞서 설명한 북한 산지토양 예측 알고리즘을 기반으로, 본 연구에서 진행한 알고리즘 진행 과정과 결과에 대해서 기술한다. 먼저 남-북 접경지대 및 중국의 환경자료에 대한 분석 결과와 알고리즘 개선사항에 대해서 소개하며, 현지조사 및 동적모형을 통한 알고리즘 개선 내용을 소개하였으며, 마지막으로 이 자료들을 결합하여 전문가의 자문을 받고, 토양예측 알고리즘을 변경한 방법에 대해서 소개하였다.

2.3.1 남-북 접경지대의 환경자료와 토양간의 상관성 규명

북한의 남부 지역의 산림토양 형성 환경은 남한의 경기도 및 강원도의 토양형성조건과 비슷하다고 판단하였다. 따라서 이 장에서는 남한에서 구할 수 있는 산림토양정보와 환경과의 비교-분석 작업을 진행하였다.

1) 개요

표 8 남-북 접경지대 산림토양정보 및 환경정보

자료명	주요정보/출처	주요 토양-환경정보
산림입지 토양도	1:5,000, 1:25,000 토양도 (Polygon) 및 속성정보(Point) 속성정보에서 더 구체적인 자료를 얻을 수 있으나 제한적인 부분만 구득 완료(특히 1:5,000은 현재 구득 중인 자료로 제한적으로만 구득 가능 출처 : 산림청	토양정보 : 토양형, 토심, 토성, 견밀도 내부환경정보 : 기반암(대, 중분류), 기후대, 지형변수(고도, 경사도, 향), 지형형태변수(사면위치, 경사형태, 지형) 등
수치고도모형(DEM)	SRTM(Shuttle Radar Topographic Mission) 1 arc-second DEM 해상도 : 27~28m → 30m 출처 : USGS Earthexplore	기본지형정보 : 고도, 경사도, 향 지형형태정보 : Catena, 사면유역지수(As), 사면곡면율(Cs), 단면곡면율(Profile Curvature)
정규화 식생지수(NDVI)	USGS eMODIS : MODIS 영상을 기반으로 NDVI로 가공된 자료 해상도 : 250m 출처 : USGS Earthexplore	2000~2013년간의 하절기 정규화식생지수의 평균, 표준편차, 변동계수값
기후정보	기상청 국가기후데이터센터 IDW 방식으로 보간	지난 30년간 평년 기온, 강수

이 연구에서는 남-북 접경지대의 환경자료와 토양관의 상관성을 규명하기 위해서 먼저 1:5,000과 1:25,000 산림입지토양도 자료를 바탕으로 지형분석 자료, 식생자료 등과의 비교를 진행하였다. 그 후 그 결과에 대해서 산림토양 전문가에게 자문을 받아 북한에 적용할 수 있는 방안에 대해서 문의를 한 후, 북한의 산림토양 예측에 활용하였다.

남-북 접경지대의 환경자료에 대한 구득결과는 표 8과 같다. 산림입지토양도는 구축 완료된 1:25,000 산림입지토양도와, 현재 구축중인 1:5,000 산림입지토양도를 사용하였다(그림 17). 단 1:5,000 산림입지토양도는 현재 구축중이고 그 양이 막대하기 때문에 모든 부분은 사용하기가 어려웠고 일부분을 활용하여 분석을 진행하였다. 산림입지토양도에는 토양형, 토심, 토성, 견밀도 등과 같은 토양정보 뿐 아니라, 기반암과 기후대와 같은 내부환경정보, 지형변수 등도 포함한다.

수치고도모형은 앞서 2.2에서 소개한 SRTM DEM을 사용하였다. 자료의 구득과정, 가공, 및 토양-환경정보와 관련된 사항은 2.2에서 자세하게 확인할 수 있다. 정규화식생지수는 미국 지질조사국(United States Geological Survey)이 제공하는 eMODIS 자료를 사용하였다. 각 지점의 식생의 활력도를 평가하는 지표로 활용하기 위하여 각 연도의 식생지수의 오류를 보정하고 대표적인 값이라고 할 수 있는 연중 최대치 값을 13년간(2000-2013) 추출하여, 이에 대해서 평균, 표준편차, 변동계수 등으로 변환하여 활용하였다(Jenkerson et al., 2010). 기후자료는 기상청 국가기후데이터센터의 자료를 이용하여 IDW방식으로 보간하여 활용하였다. 남한 지역에 있는 지난 30년간 평년 기온, 강수자료를 활용하였다.

2) 방법

이렇게 수집한 토양정보와 환경정보를 활용하여, 남-북 접경지역의 토양정보(토양형, 토성, 토심, 유기물량, 토양수분, 견밀도)의 자료와 환경정보와의 상관관계를 분석할 수 있는 통계분석을 수행하였다. 이 자료들 중 상당 부분(토양형, 지형구분 등)이 범주형 자료로 이루어져 있다는 것을 참고하여 범주형 회귀분석(Categorical Regression, CATREG)을 이용하여 분석을 진행하였다. 산림입지토양도에서는 사용하기 힘든 다른 환경변수와의 상관관계 고려나, 북한에서는 산림입지토양도 내부의 환경자료를 이용할 수 없다는 부분을 고려하여 내부 환경자료와 외부 환경자료를 나누어 분석을 진행하였다. 이에 대한 분석은 1:5,000 토양도 정보를 바탕으로 진행하였으며, 이를 바탕으로 2015년에 분석을 완료한 1:25,000결과와 비교하였다.

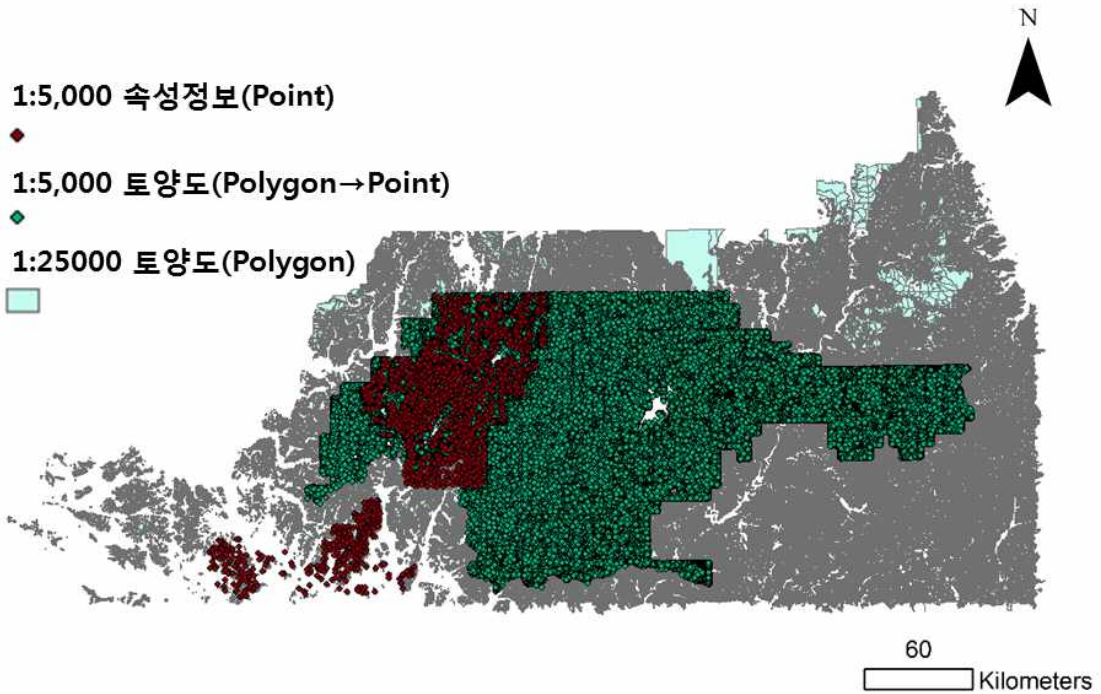


그림 17 분석에 이용한 산림입지토양도의 분포도

3) 결과

분석한 결과를 종합하면 표 9와 같다. 1:5,000 산림입지토양도의 결과와 내부 환경자료와의 분석 결과 토양형은 0.7 가까이 되는 높은 설명력을 보여주는 결과가 도출되었다. 그 이외 토성과 토심은 0.3내외의 설명력을 나타내는 결과가 도출되었다. 반면 건밀도는 0.1이하의 설명력으로 거의 설명력이 없는 결과가 도출되었다. 반면 외부 환경자료와의 모의결과는 설명력이 0.15~0.2가량 떨어지는 결과가 도출되었다. 이 결과로 미루어 보았을 때 1:5,000 산림입지토양도는 북한에 적용하기에 적절하지 않은 스케일로 판단하였고, 2015년 연구를 통해 구축한 1:25,000산림입지토양도를 바탕으로 토양자료 설정과 보정을 진행해야 한다고 판단하였다.

표 9 남-북 접경지대 산림입지토양도-환경자료 간 범주형 회귀분석 결과

분석자료	토양 변수 (중속)	입지토양도 내부 환경자료-토양 상관관계 분석		외부 환경자료-토양 상관관계 분석		비 고
		R ²	주요환경변수 (독립)	R ²	주요환경변수 (독립)	
1:5000 Point	토양형	0.693	사면위치, 경사형태	0.457	LogAs, Catena, Cs	사면의 위치와 형태가 주요한 영향을 초래
	토성 A층	0.326	모암(대), 사면위치	0.169	모암, Catena	모암과 사면의 위치가 중요
	토성 B층	0.35	모암(대), 사면위치	0.202	모암	모암이 상대적으로 더 중요
	유효 토심	0.364	경사형태, 사면위치	0.238	LogAS, Catena, Plan Cur	사면의 형태와 위치와 관련된 지수가 중요
	건밀도 A층	0.054	Log(고도), 사면위치, 모암(중)	0.045	Log(고도), LogAs	고도와 사면위치 변수가 중요
	건밀도 B층	0.064	모암(대), 사면위치, NDVI평균, 경사형태	0.062	모암, NDVI_Std, 경사도, Catena	모암이 중요
1:5,000 Polygon → Point	토양형	0.649	사면위치, 경사형태	0.196	Cs, Catena, 경사도, 강우	사면 위치와 경사형태 관련 지수 중요
	토심	0.228	경사형태, 모암(중)	0.168	강우, 모암, LogAs	경사형태와 모암이 중요 (기후는 알 수 없음)
	토성	0.308	사면위치, 경사형태, 모암(중)	0.105	모암, Ln(고도), LogAS, 경사, Catena	지형변수와 모암이 중요
1:25,000 (2015)	토양형	0.680	지형유형, 경사형태	0.109	경사도, 고도, 식생지수	해상도가 크기 때문에 입지토양도 내부 자료와의 상관성과 외부 자료 와의 상관성이 크게 차이가 나는 것 으로 판단
	유기물	0.367	양식, 기후대	-	-	

2.3.2 북-중 접경지대의 환경자료와 토양간의 상관성 규명

북한의 남부 지역은 남한의 산림토양 형성조건과 유사하겠지만, 북한의 북부의 산림토양 형성 조건은 기후 및 지형 조건에 따라 남한과는 상이한 토양 형성조건이 예상되었다. 따라서 북-중 접경지대의 환경자료와 토양간의 상관성 규명 작업이 필요하여 이에 대한 자료조사와 분석을 진행하였다.

1) 개요

서로 다른 토양분류체계를 사용해왔던 남-북한, 그리고 중국의 토양분류 및 분포에 대해 단순비교와 호환은 현 단계에서 불가능하다(안성룡 등, 1987; 홍순의, 1989; 류인수, 2000; 한국임업진흥원, 2015). 남-북 사이의 차이뿐만 아니라, 중국 토양분류체계의 개편과 스케일 등 문제도 존재하기 때문이다(于东升, *et al.*, 2004; 陈志诚, *et al.*, 2004; 史学正, *et al.*, 2004; 张维理, *et al.*, 2014). 즉 남한과 중국의 토양자료를 이용한 단순한 예측방법은 한계가 많다. 이러한 한계들을 극복하기 위해 프로세스기반인 지형-경관단위 토양예측방법을 사용하여 북한 토양예측 알고리즘을 개발하였다(한국임업진흥원, 2015). 이 알고리즘에는 저해상도의 북-중 접경지대의 토양환경자료(표 10)를 반영하고 있으나 정도를 평가하기에는 역부족한 현실이다. 이번 연구에서는 보다 고해상도의 북-중 접경지대의 토양환경자료를 수집하여 알고리즘에 반영하는 것이 주요 개선방안 중 하나였다.

표 10 북-중 접경지대 구득된 중국자료 목록(한국임업진흥원, 2015)

자료	자료형식	발행처	연도
연변조선족자치주 토양지	문헌	연변대학출판사	1990
중국 1:4,000,000 토양도	shp파일	중국과학원 지구시스템데이터베이스	1990
중국 1:5,000,000 지질도	shp파일	중국과학원 지구시스템데이터베이스	1990
중국 1:4,000,000 식생분포도	shp파일	중국과학원 지구시스템데이터베이스	1979

2) 고해상도 토양자료의 구득 시도

북-중 접경지대 고해상도 토양환경정보를 수집하기 위해 2회에 걸쳐 길림성 장춘과 연길을 방문하였다. 1차 방문은 2016년 7월 30일부터 8월 5일까지 이루어졌다. 이 방문을 통해

북-중 접경지대의 토양 및 환경자료와 북한의 토양자료를 확인하고자 한다. 이 방문을 바탕으로 연변지역 전체를 대상으로 한 고해상도 토양자료가 구축되어 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 하지만 중국 법령 상 고해상도 환경 주제도 및 자료는 기밀문건으로 분류되어 있어 반출을 금하고 있어 이 자료를 반출하지는 못하였다. 대신 연변대학교 지리학과 이춘경 교수의 동행 하 1:200,000연변토양도(그림 18)의 일부분을 열람하였다.

2차 방문은 2016년 10월 13일부터 17일까지 진행되었다(그림 19). 이 행사는 서울대학교 지리학과 및 국토문제연구소와 연변대학교 지리학과와의 학술교류 협정체결을 주목적으로, 본 연구진은 이 학술교류 협정 체결을 바탕으로 한 자료공유 및 연구협력을 목적으로 동행하였다. 두 학과와의 학술교류 협정은 원만히 처리되어 연구협력 및 자료공유를 위한 기반 구축은 원활하게 진행되었다. 그 후 토양 및 환경분야에 전문성을 가지고 있는 연변대학교 지리학과 이춘경 교수와 세부적인 협의를 진행하였다. 이 협의를 통해 현재 중국의 법·제도적 문제로 인해 자료의 직접적인 교류는 어렵다는 사실을 재확인하였으나, 공식적인 협력 연구가 진행된다면 2차 자료는 반출이 가능하며 이 경우 적극적으로 협력할 용의가 있다는 답변을 받았다.

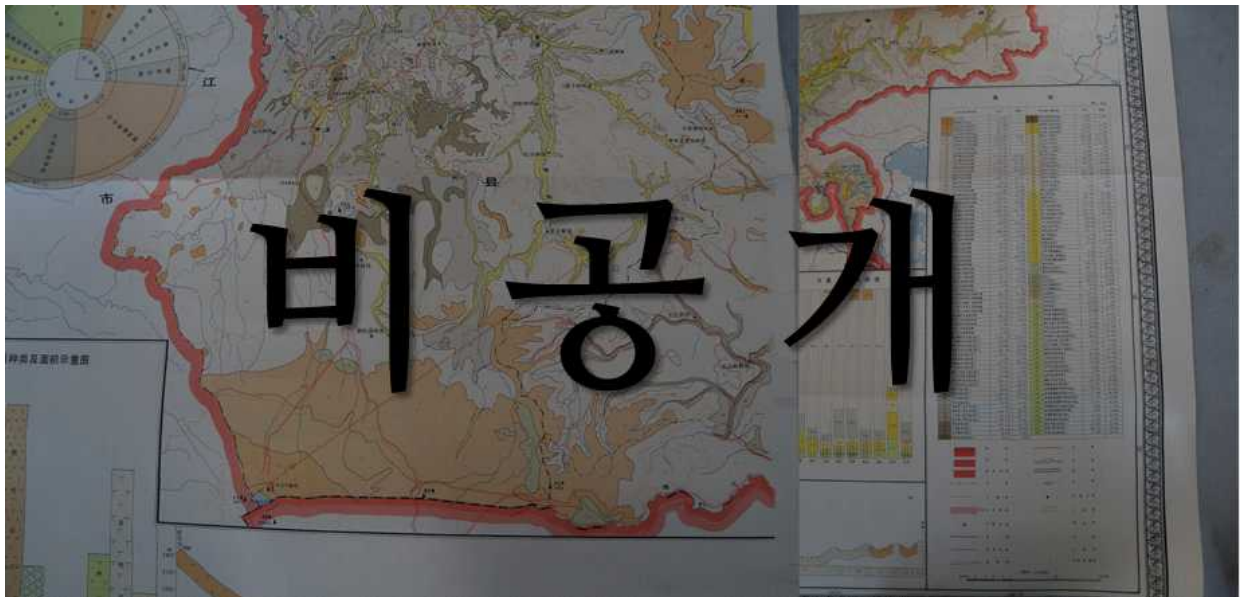


그림 18 1:200,000 연변토양도 (1990년)

두 번의 방문 모두 현지 토양조사계획을 수립하였고, 2차 방문 시에는 구체적인 계획을 수립하여 실제 조사를 진행하려 하였다. 하지만 최근 남-북 관계의 악화와 같은 정세변화와, 두만강 유역의 홍수 피해, 그리고 이를 이유로 한 중국 당국의 한국인을 대상으로 한 강경한 접경지대 접근 금지로 인하여 어떠한 조사도 하지 못한 채 좌절되었다. 따라서 현장조사

및 고해상도 환경정보는 연변대학교 지리학과와의 공식적인 공동연구를 통해 분석이 진행된 2차 자료를 이용해야 함을 확인하였다.



그림 19 연변대와의 교류 협력, (좌) 연변대-서울대 학술교류, (우) 연변대 토양전문가와의 회동

3) 북-중 접경지대 토양자료 분석과정 및 결과

표 11 북-중 접경지대 토양과 지형변수와의 기술통계 예시

토양번호	토양명	지형변수	최소값	최대값	평균	표준편차
1	화산회토	고도	1955.94	2618.37	2367.60	138.64
		경사도	4.68	51.71	23.34	10.17
		사면곡면율	-7.91	10.82	0.15	3.08
		사면유역지수	2.97	5.29	3.94	0.50
2	부식질화산회토 (유기물 있음)	고도	746.28	2308.89	1145.97	349.53
		경사도	0.16	41.67	7.22	6.08
		사면곡면율	-6.00	3.58	-0.05	0.92
		사면유역지수	2.95	7.29	3.97	0.72
3	중성암 침엽수림 회화토	고도	936.11	1867.56	1304.58	304.55
		경사도	0.36	32.57	8.04	5.09
		사면곡면율	-3.55	3.34	-0.03	0.99
		사면유역지수	3.04	7.47	4.10	0.74
4	기성암 침엽수림 회화토	고도	777.74	1588.08	1189.28	194.26
		경사도	0.17	35.69	10.71	6.35
		사면곡면율	-3.74	4.91	0.16	1.08
		사면유역지수	2.95	6.73	3.87	0.55
.....
144	점양질 층적형 수도토	고도	559.32	602.12	574.61	10.63
		경사도	0.00	13.79	2.89	2.74
		사면곡면율	-1.62	1.92	0.01	0.52
		사면유역지수	2.95	9.01	3.93	0.99

이 연구에서는 연변토양지(1990)와 비공개 열람한 1:200,000 연변토양도(1990)를 연결하여 북-중 접경지대 지형변수와 토양자료의 상관관계를 도출하여 관련 토양정보 도출 가능성에 대해 분석하였다. 1:200,000 연변토양도는 155개 토양종류의 공간분포를 반영하고 있다. 이는 기존 1:4,000,000 중국토양도가 스케일 상 반영할 수 없었던 토양종류의 분포특성을 확인할 수 있었다. 예를 들면, “중국토양계통분류(CST, Chinese Soil Taxonomy)”에 따른 1:4,000,000 토양도에서 “표회토(漂灰土)”라는 포드졸 토양종류가 존재하지만, “중국토양 발생분류(GSCC, Genetic Soil Classification of China)”를 따른 1:200,000 연변토양도에서 포드졸성 토양에 해당되는 “회화토(灰化土)”종류가 전자와 같은 토양으로 규정할 수 없다(于东升, *et al.*, 2004; 陈志诚, *et al.*, 2004; 史学正, *et al.*, 2004; 张维理, *et al.*, 2014; 한국임업진흥원, 2015). 연변토양지와 연변토양도에서 회화토가 반영하고 있는 포드졸성 토양의 분포는 북한 토양예측에 있어 중요한 북-중 접경지대의 토양정보이다(표 10).

1:2,00,000 연변토양도에 근거하여 수작업으로 구축한 북-중 접경지대 토양과 지형변수와 의 상관성을 분석해봤다(표 11). 백두산 중심으로 토양의 분포는 지형적 조건에 따르고 있음을 관찰할 수 있었다. 물론 원시자료를 이용한 분석은 아니기에 정확도가 낮은 문제점이 있지만, 연변토양도에서 설명하고 있는 거시적인 분포양상은 충분히 참고할 수 있다. 1:2,00,000 연변토양도에서 총 155개의 토양종류가 있으나 백두산 주변은 주요 8개 토양종류가 분포하고 있다. 표 12는 백두산 중심으로 분포하고 있는 토양종류와 환경자료의 상관성을 규명하는 예시이다. 모암, 지형(해발고도, catena), 식생과 토양특성 사이의 관계를 관찰할 수 있었다. 이는 향후 북-중 접경지역으로부터 고해상도의 토양환경자료를 구축하고 개선하기 위한 기반작업이다.

제한적인 자료수집 여건 하에 고해상도의 북-중 접경지대 토양환경자료 구축은 이루어지지 않았다. 그러나 공식적으로 산림토양 예측기법 개발 및 적용을 위한 한국-중국 간 협력 연구에 대한 관련 중국 연구진들의 의지를 확인할 수 있었다. 따라서 한국-중국 간의 협력 연구를 추진하게 되면 향후 북한에 대한 많은 정보를 구득할 수 있을 뿐만 아니라 중국과의 다른 협력 사업 및 다른 국가의 적용 등 가치가 무궁무진할 것이다. 현재 북한에 대한 토양 정보는 교과서 등에 나타난 조약한 형태의 몇 개 도판에 불과하다. 현 정세에도 불구하고 중국 및 북한의 학계는 지속적으로 정보를 공유하고 있으며, 본 조사를 통해서 협력 연구 네트워크를 구축한다면 직/간접적으로 북-중 접경지대 및 북한의 정보를 직/간접적으로 구득할 것으로 기대할 수 있다. 한국임업진흥원 차원의 신사업 발굴을 위해서는 해외산림 관련 지원 및 협력에 관련되는 추가적인 논의가 필요하지만, 중국은 광대한 영토와 다양한 자연조건을 가지고 있기에 산림자원조사의 지식과 경험을 공유하고 전파할 수도 있다.

표 12 북-중 국경지대 토양과 환경자료의 상관성 규명 예시

code	토양명	모암_기록	모암_code	해발고도 (m)	지형	Catena	식생	토성_종	PH	유기물 (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
1	화산회토	부석	6	2200~2500									
2	부식질화산회토	부석에 화산암 조각들과 함께	6, 1	1900~2200						118305	5205	4740	127335
3	중성암침엽림회화토	섬록암과 분출암의 eluvium과 사면퇴적물	2, 1				4, 5 침엽수림	소사질점양토	4.06	119325	4545	3960	24630
4	기성암침엽림회화토	현무암의 사면퇴적물	1	>1000	완만한 산정	1?	침엽수림	분사질점토	4.64	78300	4425	2085	88125
5	화산회침엽림회화토	화산쇄설물	6	>1000	현무암 대지		침엽수림	사양토	4.49	274575	10275	3765	74100
6	산성암침엽림회중양	화강암 풍화잔류물과 사면퇴적물	2	800~1400	산지	4, 5	침엽수림	점양토	4.8	410415	15540	11895	140520
7	중성암침엽림회중양	화산암, 심성암, 퇴적암의 반풍화물	1, 2, 3	800~1000	사면 경사 큼		침엽수림	다역질양토	5.1	399615	18225	12825	66960
8	기성암침엽림회중양	현무암 풍화잔류물	1	1000~1200			침엽수림	자역질점양	5.7	413025	19575	10560	51675

2.3.3 현장조사를 통한 북한 산지토양정보 예측 알고리즘 정교화

이 연구에서의 당초 계획은 남한과 북한 지역의 산지토양정보를 정교화하기 위하여 남한의 강원도 일대(북한 남부 토양정보 반영)와 북-중 접경지대의 토양조사를 진행하고자 하는 것이었다. 하지만 앞서 북-중 접경지대 자료조사 시 병행하여 진행하려고 하였던 현장조사는 2차례(2016년 8월, 10월) 시도에도 불구하고 성공적으로 수행하지 못하였다. 이에 이 내용에서는 남한의 현장조사 내용과 결과만 한정지어 소개한다.

1) 개요

남한과 북한은 지질, 지형, 기후 등 여러 환경 요소들의 차이로 토양이 서로 다른 특징을 보인다. 그러나 주어진 외부 환경 변수 이외에 분단 이후 60년간 지속되어 온 내부 변수인 토지 이용의 차이에 따라 토양 특징은 더 큰 차이를 보이게 된다.

남한은 한국전쟁 이후 황폐한 산림에서 성공적인 조림사업을 통해 우수한 산림을 갖게 되었지만, 북한의 산림면적은 1990년 820만 ha, 2000년 680만 ha, 2005년 610만 ha로 점차 감소하고 있으며, 이에 따라 산림비율도 1980년대 말 74.8%에서 1990년대 말 70.7%, 1994년대 말 67.9%로 지속해서 낮아지고 있다(국제연합농업 식량기구, 2005). 이는 매년 서울 면적에 약 2배에 해당하는 12.7만 ha의 산림이 사라지는 것으로써 세계적인 3대 황폐지역으로 지정될 정도로 심각한 수준이다(유재심, 2014). 이러한 북한산림 황폐화의 주된 이유는 식량 부족으로 인한 산림을 밭으로 개간하는 것이며, 특히 다락밭들이 무분별하게 증가하면서 대규모 산림훼손으로 이어지게 된 것이다(임재학, 2011).

북한은 남한보다 험준한 산악지대가 많으며 평야지대가 적고 영농에 있어 불리한 조건을 갖추고 있다. 이러한 협소한 경작지, 불리한 기후 조건, 척박한 지력 등을 개척하고자 급한 경사의 사면에 위치하는 비탈밭들을 다락밭으로 만들기 시작했다. 이에 따라 1976년 하반기부터 북한의 경사지는 거의 모두 다락밭으로 바뀌기 시작하였다(임상철, 1995).

북한의 다락밭으로 인한 산림훼손 심화는 산사태, 토양 침식, 눈사태 등 여러 자연 피해를 가중시키고 있을 뿐만 아니라(정승규 등, 2016), 이로 인한 환경변화가 토양예측에 어려움을 주고 있다.

2) 조사 지역

본 연구에서는 산지토양정보 예측 알고리즘을 정교화하기 위해 북한의 토지이용 특징을 대표하는 다락밭과 그 이용조건이 유사한 남한의 연구지역을 선정한 후 토양 샘플링 및 속

성 분석을 통해 결과에 반영하였다(그림 20).

안반덕은 강원도 강릉시 왕산면 대기 4리에 위치한 곳으로 1965년에 국유지의 개간 허가를 내어 감자, 약초 등을 재배해오다가 1995년 경작자들에게 농지로 불하하여 현재 전국 최대 규모의 고랭지 채소가 재배되는 곳이다. 안반덕은 개간 허가가 승인되기 이전부터 화전민들이 화전을 통해 밭을 가꾸왔던 지역으로 북한의 다락밭과 그 이용환경 및 자연조건이 비슷한 지역으로 판단하였다.

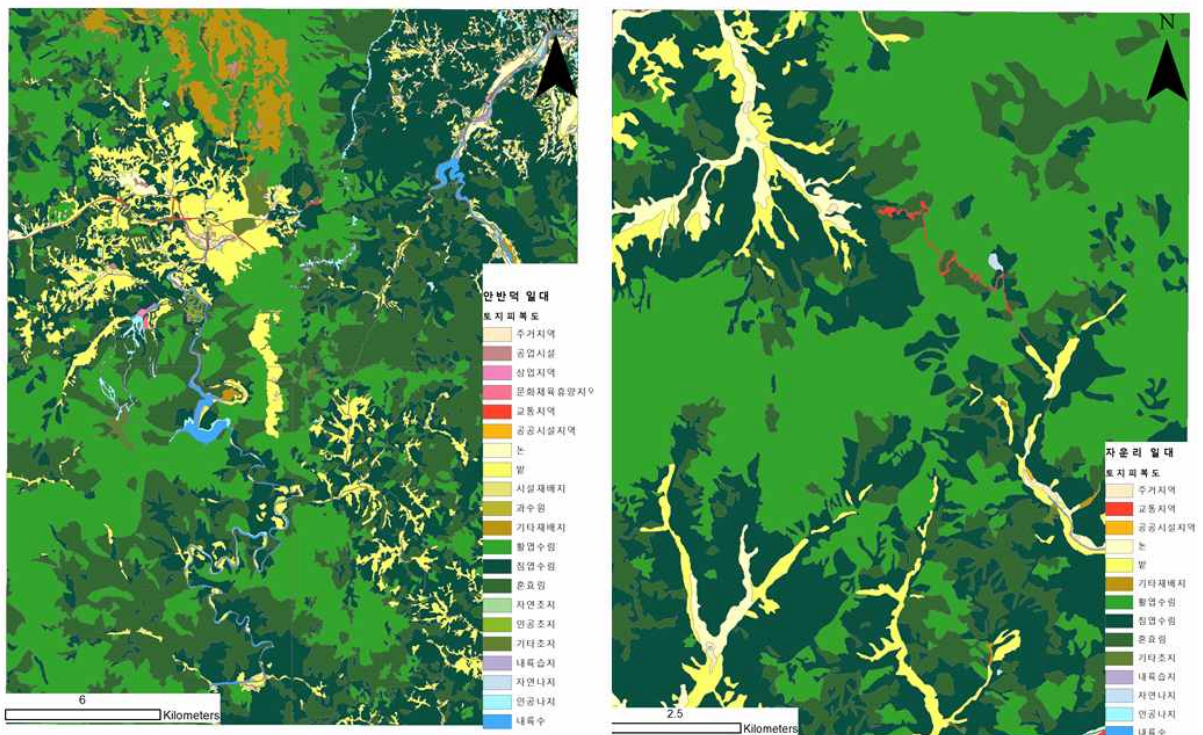


그림 20 현장조사 지역, (좌) 안반덕 일원, (우) 자운리 일원

3) 방법

본 연구에서는 다락밭을 대표하는 남한 지역의 경작지와 상대적으로 토지이용에 의한 간섭이 덜한 산지 지역으로 나누어 토양 시료를 채취하였다. 이는 집약적인 토지이용에 의한 토양 속성의 변화 및 그 차이를 살펴보고 이를 토양속성정보 예측 알고리즘에 적용하기 위한 것으로 시료 채취 지점의 수는 경작지와 산지가 비슷하게 포함되도록 설계하였다.

토양 시료 채취는 2016년 9월에 실시하였으며 지름 5cm, 깊이 30cm의 알루미늄 튜브를 제작 및 이용하였다. 채취 전에 분해되지 않은 유기물을 제거하였으며 지표에서 20cm까지의 토양을 채취하여 분석하였다. 또한 토양 특성의 일반성을 확보하기 위하여 첫 시료 채취 지점에서 반경 1m 이내의 다른 지점을 선정하여 같은 방법으로 채취하는 2회 반복법을 적

용하였다. 이와 같은 방법으로 총 90개 지점의 토양 시료를 채취하였고 채취 직후 밀봉하여 분석 직전까지 냉장 보관하였다.

본 연구에서는 토양의 물리적·화학적 특성 중 토색, 가비중(BD), 수분함량(Water Content), 유기물함량(Organic Matter), pH, 공극률(Porosity) 등을 선정하여 분석하였다. 각 토양 특성을 분석한 공식은 아래와 같다.

$$BD(g/cm^3) = \frac{Weight_{dry}}{Volume_{soil\ sampler}}$$

$$Water\ Content(\%) = \frac{Weight_{wet} - Weight_{dry}}{Weight_{dry}} \times 100$$

$$Organic\ Matter(\%) = \frac{Weight_{105} - Weight_{600}}{Weight_{105}} \times 100$$

$$Porosity(\%) = 1 - \frac{particle\ density(g/cm^3)}{bulk\ density(g/cm^3)} \times 100$$

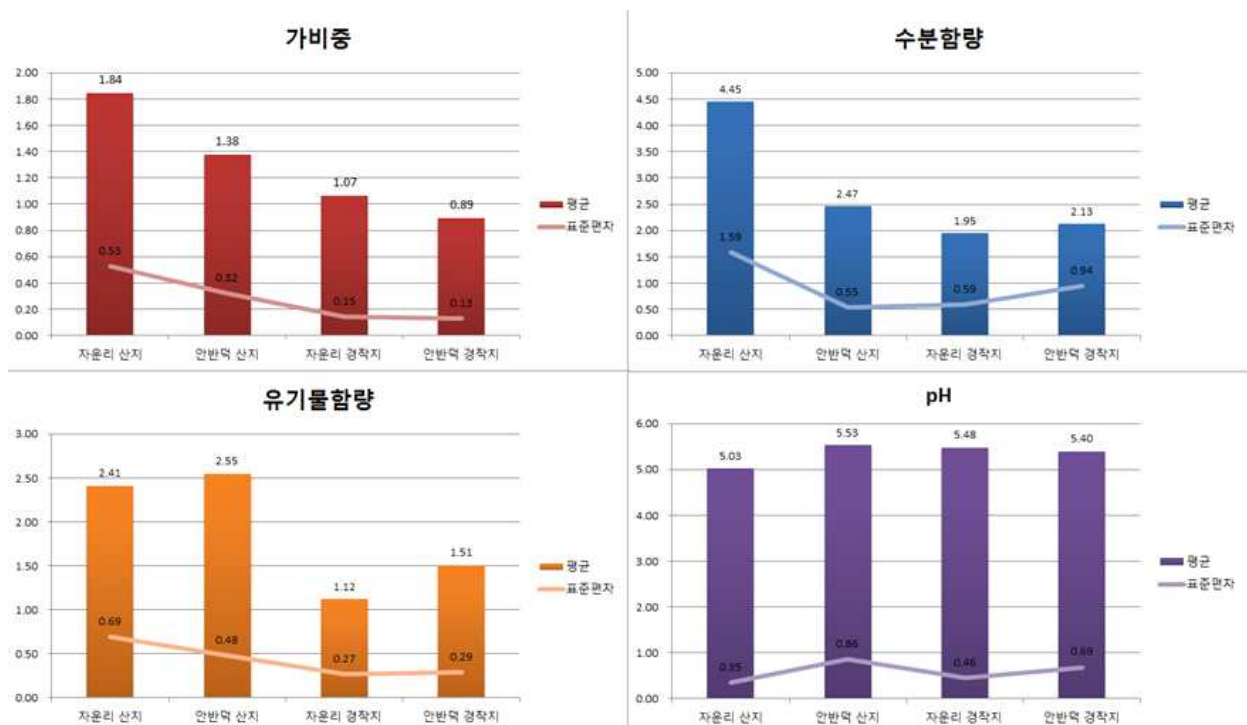


그림 21 연구지역별 토양의 속성정보 차이

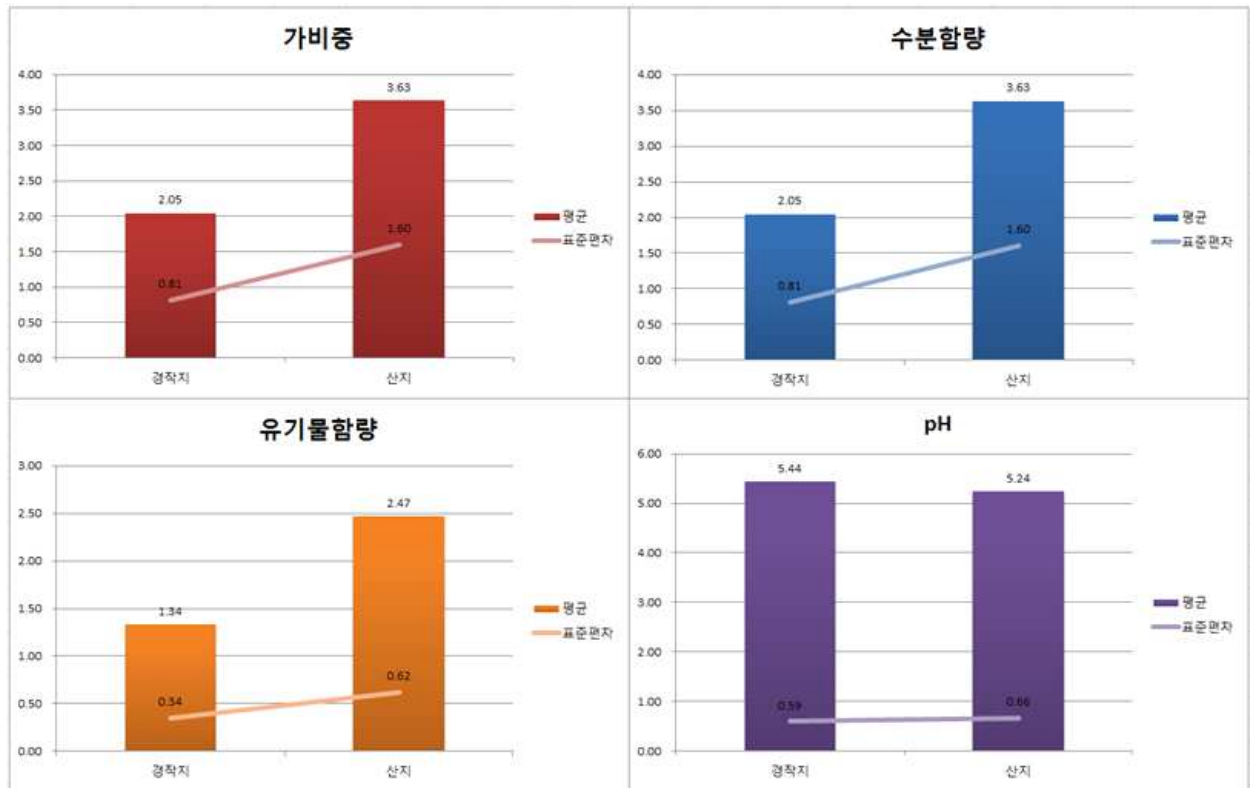


그림 22 연구지역의 산지 및 경작지별 토양의 속성정보 차이

4) 결과

연구지역인 자운리와 안반덕의 토양 속성을 살펴본 결과는 그림 21과 같다. 가비중과 수분함량의 경우 안반덕보다 자운리가 상대적으로 더 높게 분석된 반면, 유기물 함량과 토양 pH는 자운리에 비해 안반덕이 더 높게 나타났다. 연구지역 중 안반덕은 시료 채취 당시 고랭지 배추 수확이 진행되는 시기였기 때문에 이미 수확을 마치고 나지 형태를 보이는 자운리 경작지에 비해 유기물 함량이 더 높게 나타난 것으로 보인다. 유기물 함량과 밀접하게 연관되는 pH 수치도 이에 따라 안반덕에서 더 높게 나타난 것을 확인할 수 있다.

연구지역 두 곳을 산지와 경작지로 단순하게 나누어 살펴본 결과는 그림 22와 같다. 보통 토양의 압착이 상대적으로 더 발생하는 경작지에서 가비중이 높게 나타나지만 본 연구에서는 반대의 결과를 보였다. 이러한 오류는 유기물 함량과의 차이에서 더 명확하게 밝혀진다. 유기물 함량이 높을수록 유기물이 토양의 입단구조를 발달시켜 공극은 많게 하고 가비중은 낮게 하기 때문에 유기물이 많을수록 공극률을 커지고 가비중은 낮아지는 것이 일반적이지만 산지의 유기물과 가비중이 동시에 높게 나타난 것으로 가비중 실험결과의 오류를 확인할 수 있다. 이는 채취 시의 오차로 여겨지며, 조사 과정에서 알루미늄 튜브를 사용하여 토양 채집 중에 완전한 20cm를 채집하지 못하고 꺾꺾 눌러 담겨졌거나, 빈 공간이 생긴 채 담겨져서 가비중에 오류가 생긴 것으로 여겨진다.

토양 내 수분의 종류는 결합수, 모세관수, 중력수 세 가지로 나타낼 수 있다. 결합수란 물과 토양입자간의 부착력에 의해 토양 내에 머물고 있는 물이며, 모세관수는 물과 물 입자간의 응집력(수소결합)에 의해 모여있는 물이며, 중력수는 중력에 의해 토양의 위에서부터 아래로 빠져나가는 물을 말한다. 토양의 입자가 클수록 단위부피당 토양입자의 단면적이 작아지고 공극의 크기가 커지게 되어 결합수와 모세관수보다 중력수의 비율이 커지게 된다. 이와 반대로 토양의 입자가 작을수록 단위부피당 토양입자의 단면적이 크기 때문에 물 분자와 반응할 가능성이 커져 결합수의 비율이 높아지게 된다. 또, 공극의 크기가 작아 모세관현상에 따른 수분의 이동이 원활하게 되어 모세관수의 비율도 높아지며 중력수로 빠져나가는 물의 양이 적다. 즉, 토성에 따라 토양입자의 단면적과 공극의 크기가 결정되어 결과적으로 토양 수분의 함량이 결정된다. 토양의 물리적 속성 중 가비중은 토성에 의해 직접적으로 결정되기 때문에 가비중에 따라 수분함량에도 차이가 발생한 것으로 파악된다.

이와 같이 남한에서의 현장조사는 북한의 특이 토지이용 현상인 다락밭과 그 토지이용조건 및 경작기간이 비슷하다고 여겨지는 연구 비교지역으로서 자운리와 안반덕을 선정한 후, 산지 및 경작지의 토양을 분석한 결과를 북한의 황폐지와 비황폐지의 실태 가늠자로 판단하였다. 이러한 결과가 북한의 현황을 예상하고 토양예측 알고리즘을 정교화하는 데 기여할 것으로 기대하였으나 이는 아직 가능의 영역으로, 추후의 연구에서 이러한 환경의 유사성에

의한 비교검토가 보다 엄밀하게 이루어져야 할 것이다.

2.3.4 동적모형을 활용한 북한토양속성 보정

다락밭과 비탈밭으로 대표되는 북한의 산림개간 정책과, 이로 인한 산림지황폐화로 북한의 산림토양은 많은 영향을 받을 것으로 예상된다. 특히 도출하고자 하는 토양정보 중 토심과 유기물량의 부분은 인간의 토지이용에 따라 많은 차이가 있을 것이라 예상되었다. 특히 남한의 자료만으로는 이러한 정보가 과추정될 우려가 있다는 것이 이 연구에서의 판단이었다. 그래서 이 내용에서는 토심과 유기물량을 보정하기 위한 동적모형의 활용과정을 소개한다.

1) 토심모형 보정을 위한 토양침식모형 활용

현재 개발한 북한토양예측 모형은 남한의 환경조건에 따른 결과를 활용한 예측 방식으로, 북한에 그대로 적용하는 것은 한계가 있다. 특히 북한의 경우 산림지황폐화로 인해 산림이 침식에 노출되어 있기 때문에 이 정보를 그대로 적용하는 것은 타당하지 않다. 특히 토심 부분에서는 남한의 정보와 북한의 정보는 많은 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 토양침식모형을 이용하여 침식된 양을 모의함으로써, 침식된 깊이를 추정하는 방식을 진행하였고 이를 토대로 보정을 진행하였다. 이 연구에서는 여러 토양침식모형 중 범용으로 사용하는 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)를 사용하였는데, 그 수식은 아래와 같다.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

RUSLE의 결과값(A)은 단위면적, 단위시간당 침식량(대체로 Ton/ha/year)으로 계산되며, 이는 강우인자(R), 토양에 의한 침식인자(K), 지형인자(LS), 식생에 의한 침식인자(C), 경지개간 형태에 따른 침식인자(P)의 곱으로 계산된다. 각 인자는 각 지역의 환경정보에 따라 계산되었다. 강우인자(R)은 기상청 국가기후데이터센터⁹⁾의 최근 10년간의 기후자료를 이용한 보간자료를 바탕으로, 이민부 등(2003, 2008)에서 적용한 방식으로 계산하였다. 토양에 의한 침식인자(K)는 이 연구에서 예측한 토양형 및 지질을 바탕으로 각 토양형의 대표속성을 적용

9) <http://sts.kma.go.kr>

하여, 서일규 등(2010)이 적용한 토양침식인자 계산방식을 적용하였다. 지형인자(LS)는 이 연구에서 사용한 SRTM DEM 1 arc-second자료를 이용하여, DiGem 2.0에서 제공하는 LS인자 제공 툴을 이용하였다. 식생에 의한 침식인자(C) 및 경지개간 형태 인자(P)는 이민부 등(2008)과 박찬원 등(2010)의 방법을 결합하여, 환경부 대분류 토지피복도를 적용하여 각 토지 이용에 따른 각 인자를 계산하였다.

하지만 RUSLE의 결과는 단위에서도 알 수 있듯 단위면적당 중량을 이야기한다. 이 단위 면적당 중량으로 나타난 침식량을 연간 침식량으로 나타내기 위해서 국립산림과학원(2011)의 토양형별 용적밀도 자료를 활용하여 이를 나눔으로써 연간 침식량을 연간 침식깊이로 나눌 수 있었다. 또한 변종민·성영배(2015)의 토양생성률을 이용하여 이를 보정하고, 북한과 남한의 토지이용 조건이 달라진 것이 30년이라 고려하여 30년간의 침식깊이를 구하였다. 그리고 이를 기존에 예측한 토심예측도에서 빼서, 보정된 북한의 토심예측도를 도출하였다(그림 23).



그림 23 RUSLE를 적용한 토심예측 보정 모식도

2) 유기물량 보정을 위한 기법 탐색

토양 내 유기물량 보정을 위해서는 더 복잡한 논의가 필요하였다. 이는 토양에 함유된 유기물(Soil organic matter)의 경우 경작활동, 토지이용 등 상대적으로 단기간에 유동적인 변수들이 중요하게 고려되어야 할 필요가 있기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 필요성에 대하여 지역 특수성이 보정된 토양속성전환공식(Pedotransfer function) 또는 토양탄소모형(Soil Carbon model)과 같은 다양한 예측기법을 통해 기존의 결과를 보완할 수 있는 방향을 모색하였다.

산림생태계에서 토양유기물은 동식물의 생애주기에 따른 영양소의 순환과정에서 토양 표면과 내부에 축적되며, 식생의 초기 정착과 생장에 주요한 요소로서 작용한다. 기존에 이루어진 연구에서 북한지역의 토양 유기물량은, 각 지형경관에 따라 발달할 것으로 추정되는 결과로서 토양형(soil type)에 따라 결정되었다. 하지만 이는 앞서 언급한 대로 북한과 남한의 토지이용의 조건 차이로 인하여 달라질 수 있다. 실제로 북한은 식량과 연료 부족 때문에 산림에 있는 유기물(목재, 낙엽 등)을 적극적으로 이용했을 것으로 추정되며, 농지로 개간함으로써 많은 유기물들이 침식되었을 것이라 추정된다.

이러한 맥락에 의거하여 본 연구에서 고려된 토양 내 유기물량 추정 알고리즘의 개선 방법은 산지에 잔류한 식생의 양과 토양 내 축적된 유기탄소를 주로 고려하는 크게 두 가지 방안으로 구분된다. 보다 구체적으로는 정규식생지수(NDVI)를 활용한 토양속성전환공식의 적용과, 기존 서구 토양학계에서 구축되어 검증된 컴퓨터 토양탄소 추정모형인 CENTURY, Rothamsted Carbon model, YASSO model 등의 북한토양환경에 의한 보정이 그것이다.

표 13 토양속성전환공식 PTF 관련 연구사례

연구저자	토양전환공식	유형	지역
Curtis and Post(1964)	$\log(BD*100) = 2.09963 - 0.00064(\log OM) - 0.22302(\log OM)^2$	로그형 회귀	미국 버몬트
Adams(1973)	$BD = 100 / [(OM/K1) + (100 - OM/K2)]$	비체적 변수 회귀	유럽 일대
Alexander(1980)	$BD = 1.72 - 0.294 * OC^{0.5}$	제공근변환	미국 캘리포니아
Federer(1983)	$\ln BD = -2.314 - 1.0788 \ln OM - 0.1132 (\ln OM)^2$	자연로그 2차다항식	미국 뉴잉글랜드
Huntington et al. (1989)	$\ln BD = 0.263 - 0.147 \ln OC - 0.103 (\ln OC)^2$	자연로그 2차다항식	미국 뉴햄프셔
Manrique and Jones(1991)	$BD = 1.660 - 0.318 * OC^{0.5}$	제공근변환	하와이 일대
Tamminen & Starr(1994)	$BD = 1.565 - 0.2298 (LOI)^{0.5}$	제공근변환	핀란드
Rawls(1983)	$BD = 100 / [(OM/K1) + (100 - OM/K3)]$	비체적 변수 회귀	유럽 일대
Tomasella & Hodnett(1998)	$BD = 1.578 - 0.054 * OC - 0.006 * \text{silt} - 0.004 * \text{clay}$	비체적 변수 회귀	브라질 우림
Bernoux et al. (1998)	$BD = 1.398 - 0.0047 * \text{clay} - 0.042 * OC$	비체적 변수 회귀	브라질 우림
Kaur et al.(2002)	$BD = \exp(0.313 - 0.191 * OC + 0.02102 * \text{clay} - 0.000476 * \text{clay}^2 - 0.00432 * \text{silt})$	지수형 회귀	유럽 일대
De Vos et al.(2005)	$BD = 1.775 - 0.173(LOI)^{0.5}$	제공근변환	벨기에

먼저 토양특성전환공식(Pedotransfer Function; PTF)은 비교적 쉽게 측정 가능한 토양 특성을 통해 상대적으로 인력/비용 집약적인 방법을 통해 알아내야 하는 토양특성을 추정하는데 사용된다(De Vos, 2005). 이는 어떠한 지역에 대하여 이미 조사되거나 알려져 있는 토양 특성들과 미지의 토양특성 간 관계를 경험적 회귀식을 통해 구축한 것으로 표현된다(표 13).

PTF는 토양의 물리화학적, 생물학적 특성 전반에 폭넓게 활용되며, 많은 경우 “OM, OC, LOI” 등으로 표기되는 토양유기물량이 다른 토양특성의 추정에 중요한 변수로서 간주된다. 이는 역으로 다른 변수들, 일례로 본 연구의 결과로 추정된 바와 같은 북한지역의 사면 지형형태정보, 토양수분함량, 토성(texture), 견밀도(hardness) 또는 토양의 가비중(bulk density) 등이 잘 알려져 있을 경우 토양유기물량의 추정 또한 용이하게 이루어질 수 있음을 의미한다.

토양유기물량을 종속변수로 하여 구축된 여러 PTF 가운데 본 연구에서는 한국과 유사한 기후와 지질 및 지형구조를 갖는 한편 북한과 같이 집중적인 경작이 이루어지는 중국 북서부 플랜테이션 지역의 연구로부터 도출된 것을 적용하였다(Shilian, 2015). 해당 연구에 따르면 특정 지역의 토양유기물량 OM은 다음의 수식과 같이 나타난다.

$$OM = 0.71 TWI + 0.019 Aspect + 6.225 NDVI + 0.793 Om_i - 3.72$$

해당 수식에서 TWI는 토양습윤지수(Topographic Wetness Index)로서 토양의 수분함유정도를 상대적으로 드러내는 지표이며, NDVI는 정규식생지수(Normalized Difference

Vegetation Index)로서 지역 식생의 활력정도를 대변한다. 한편 Omi는 토지이용형태에 따라 표준화된 토양유기물 기본값을 질량비중으로 표현한 변수로서 산림(혼효림, $50g \cdot Kg^{-1}$), 초지($30g \cdot Kg^{-1}$), 농경지($20g \cdot Kg^{-1}$) 등의 수치를 취한다.

이러한 회귀식의 내용을 토대로 본 연구에서는 북한지역에 대해 산지-비산지 지형단위 구분 결과에 따라 각각 다른 Omi값을 부여하였다. 또한 미국 지질조사소(USGS)에서 제공하는 육상지표관측자료인 eMODIS를 기반으로 약 10년 간(2003-2013)의 북한지역 최난월(8월) NDVI 누적변화에 선형회귀에 의한 외삽법(Linear regression extrapolation)을 통해 NDVI값의 예측을 수행하여 북한지역의 유기물량 기댓값을 도출하였다(그림 24).

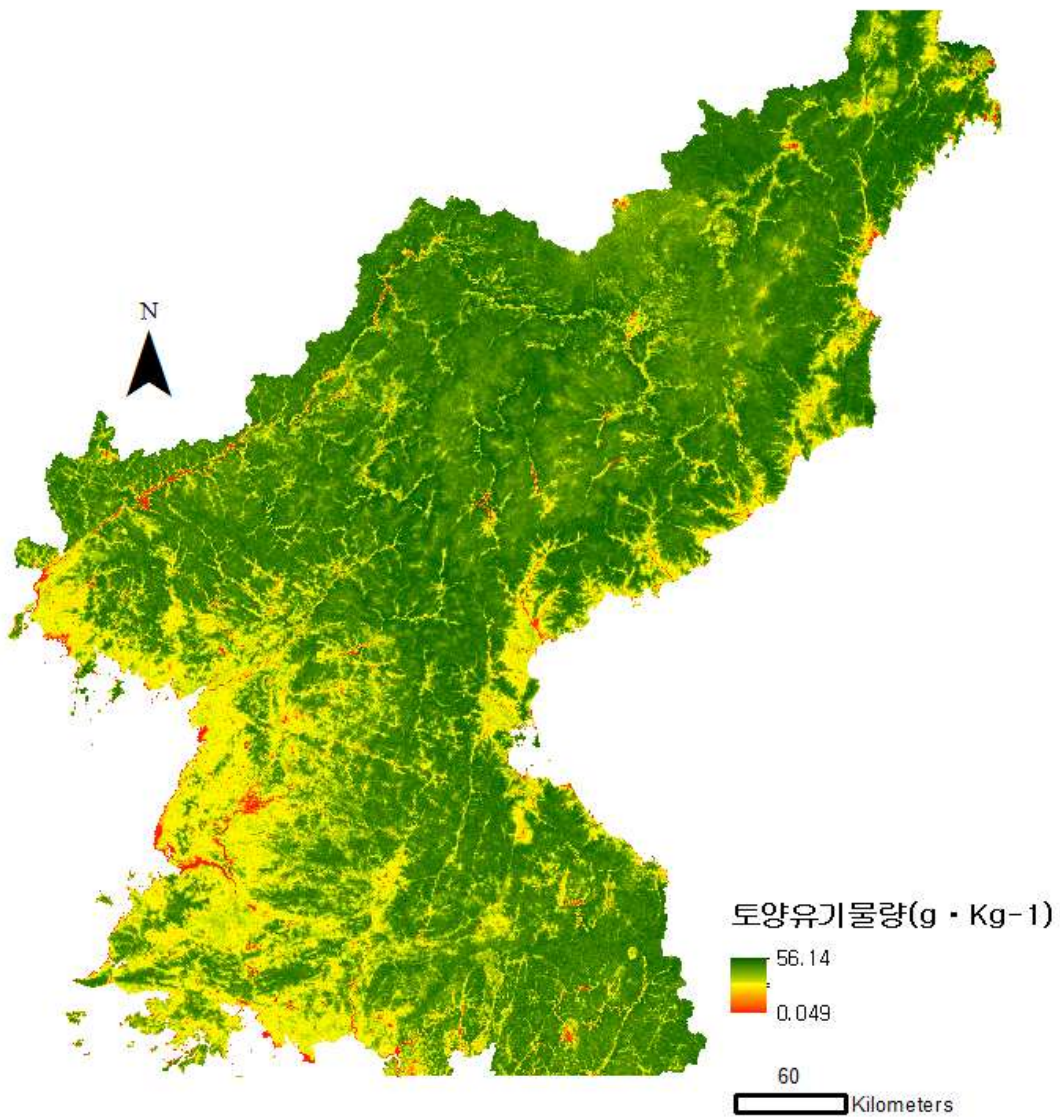


그림 24 PTF의 적용을 통해 추정된 북한지역 유기물량

표 14 대표적 토양탄소모형의 개괄 (이아름, 2010에서 재인용)

모형 명칭	모형 유형	개발 국가	개발 연도	개발주체
ROMUL	토양유기물 추정모형	러시아	2001	Chertov et al.
RothC	토양탄소회전율 모형	영국	1999	Coleman and Jenkinson
YASSO	산림토양유기탄소 모형	핀란드	2005	Liski et al.
CENTURY	토양유기물 모형 (생물-지화학적 순환모형)	미국	1987	Parton et al.
CBM-CF93	탄소수지모형	캐나다	2006	Kurz et al.
Forest-DNDC	생물지화학적 모형	미국	1991	Li et al.
Sim-CYCLE	토지생태계의 탄소순환모형	일본	2005	Ito et al.

이상과 같은 PTF의 적용은 상이한 토지이용상태와 위성영상을 통해 확인된 잔류 식생의 활력을 전역적으로 추정에 활용할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 PTF는 구축된 회귀식이 배경으로 하는 지역 내에서 유효한 지역 특이성(site-specific)을 띠며 따라서 해당 전환공식이 상정하는 토지피복 또는 토양 이용 이외의 형태가 발견될 경우 설명력이 저하될 수 있다는 한계를 갖는다.

한편 토양유기탄소 축적량을 모의하는 모형을 통한 방안은 PTF와는 달리 토양속성 간 상관관계보다 탄소순환의 역학관계와 그 기작을 중시한다. 토양유기탄소량의 추정을 위해 기존에 개발된 대표적 모형의 일람은 다음과 같다(표 14).

이러한 여러 모형 가운데 본 연구의 여건과 목적에 부합되는 것으로는 RothC 모형과 YASSO 모형인 것으로 사료된다. 본 연구의 대상지역이 토양정보 내지 토지이용정보가 극히 제한된 북한임을 감안할 때, 엄밀한 결과를 도출하기 위해 다수의 조건변수를 요구하는 다른 모형의 사용이 제한되기 때문이다. 가령 가장 대표적인 농업토양추정모형으로서 CENTURY 모형은 작물유형, 경작형태, 사용 비료, 초지/수목 유형, 수확유형, 관개유형 등 12개 변수와 농업생태계적 영향을 연단위 토양유기물 추이 예측에 반영한 것이다(Parton, 1973). 그러나 해당 모형이 요구하는 자료는 접근성이 낮을 뿐 아니라 본 연구의 범위를 초과하는 것으로서 실제 적용이 어렵다.

반면 RothC 모형의 경우 토성과 기본 유기물량 등 토양 특성, 기후 관련 자료 등을 기반으로 한 시나리오 분석의 형태를 띠고 있으며, 여타 모형에 비해 상대적으로 간단한 분석구조를 내장하고 있음을 알 수 있다(그림 25) 또한 기존 토양유기물 모형의 국내적용 가능성에 대한 연구 또한 입출력자료의 가용성이 넓은 RothC 모형과 YASSO 모형을 국내 여건에 가장 적합한 모형으로 거론한 바 있다(이아름, 2010).

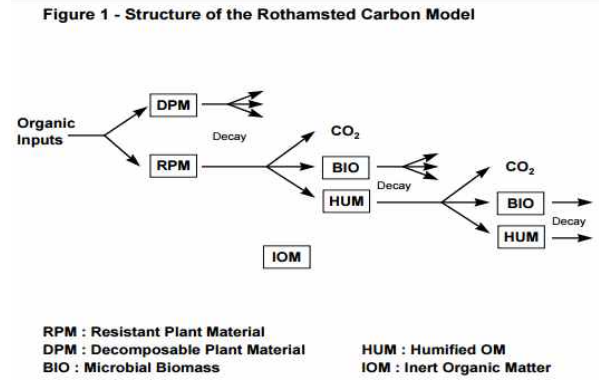
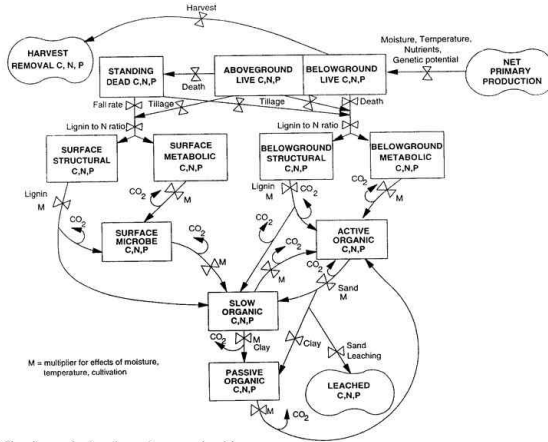


그림 25 CENTURY 모형(좌)과 RothC 모형(우)의 분석구조 비교(Parton, 1973; Liski, 2005)

이에 본 연구에서는 토양탄소모형 적용의 예시로서 RothC 모형을 채택하고, 세밀한 북한 토양정보가 제한된 상태에서 북한 산지와 작물생육환경 조건을 모형 내에서 구현하도록 시도하였다. 즉 해당 환경조건을 1) 기본 토양유기물량이 완전히 없다고 가정하였을 때, 2) 인위적인 시비의 투입 없이 3) 밀경작지를 천이 초기의 산지에 마련하였을 경우로 상정하고 5년간의 토양 유기물 및 탄소량 변화를 모의해보았다(그림 26).

해당 모의의 결과 60개월에 걸쳐 총탄소축적량은 약 8.7tC/ha 수준으로 상승하며, 표토의 부식질(HUM) 등 다른 지표는 크게 증가하지 않음을 볼 수 있다. 이상의 결과가 배경으로 하는, 모형에서 모의를 위해 설정한 시나리오 조건에 부합하는 지역에 대해서는 상기한 결과와 같은 탄소변화추이를 참고할 수 있으리라 사료된다. 그러나 모형을 북한의 현실에 맞게 보정하고 추정결과를 보다 고도화할 수 있는 방안에 대한 부가적인 연구가 지속될 필요가 있다.

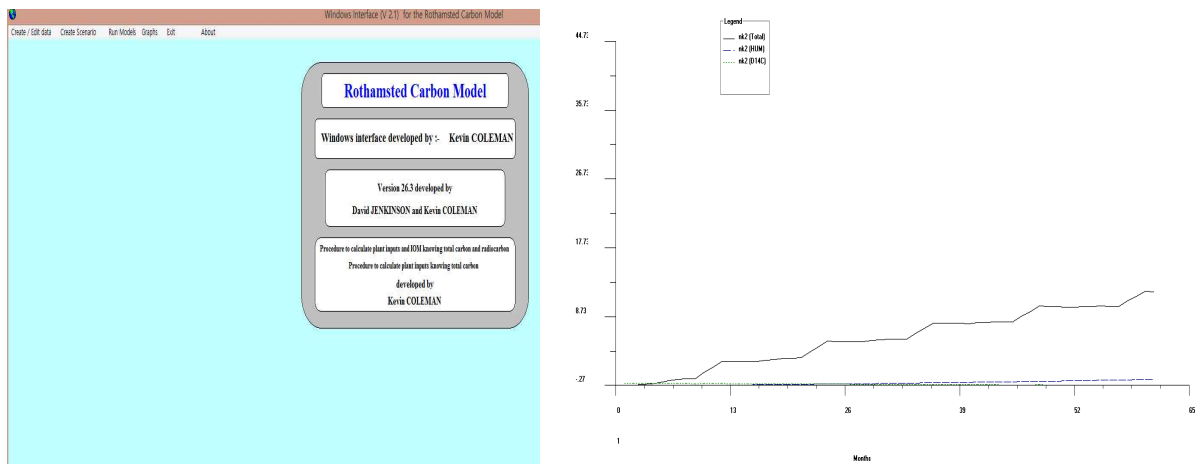


그림 26 RothC 모형을 통한 북한 경작지역 유기탄소변화 시나리오 분석예시

2.3.5 토양예측 알고리즘 개선

앞서 도출한 알고리즘 개선 방안을 결합하여, 토양예측 알고리즘 개선 방안을 도출하고자 하였다. 먼저 도출한 알고리즘 개선 방안의 초안을 산림토양과 관련된 자문위원들에게 자문을 받았으며, 도출된 결과를 바탕으로 2015년에 개발한 토양예측 알고리즘을 개선하는 작업을 진행하였다.

1) 산림토양 전문가 자문회의

토양 전문가 자문을 통해 환경정보를 이용한 북한의 토양정보 예측 방안에 대한 자문회의를 진행하였다. 자문회의는 2015년 연구(한국임업진흥원, 2015)를 포함해서 총 3회 진행하였다. 2015년 자문회의에서는 대체로 산지토양예측에 기초가 되는 지형구분의 명칭을 선정하고, 각 단위별 토양형을 진행하는 부분을 중점으로 진행하였다. 2016년 자문회의에서는 이를 보완하여 토성, 토심, 견밀도, 토양수분 등의 정보를 도출하는 방법에 대한 자문을 얻었다. 그 개략적인 내용은 표 15와 같다.

표 15 토양전문가 자문회의 주요내용 요약

구분	일시/장소	자문위원	주요 논의내용
2015 -1차	'15. 10. 2(금) /서울대학교 지리학과 회의실	박관수(충남대학교), 정진현(산림조합중앙회), 이천용(한국산림보존협회), 원형규(산지환경조사연구회), 유재심(국립산림과학원)	- 연구내용 소개 - 연구 중간 진행결과 소개 - 북한 산림토양 예측을 위한 기초방안
2015 -2차	'15. 11. 20(금) /서울대학교 사회과학대학 신양학술정보관	박관수(충남대학교), 정진현(산림조합중앙회), 원형규(산지환경조사연구회),	- 연구 진행결과 소개 - 지형구분방법 및 명칭 결정 - 북한 산림토양 예측을 위한 세부방안(각 단위에 대한 토양형 지정)
2016	'16. 11. 18(금) /서울대학교 사회과학대학 신양학술정보관	정진현(우림엔알) 원형규(산지환경조사연구회), 이천용(한국산지복원연구소), 정영한(국방지형정보단), 이정우(국방지형정보단)	- 추가 토양정보 도출 방법 - 포드졸성 토양 관련정보 - 분석기법 및 적정 스케일

2016년 자문회의에서는 2015년과 2016년 연구 내용과 앞서 언급한 토양 정보의 1차 도출

방안에 대해서 정보를 제공하고 이에 대한 자문을 구하였다. 먼저 토양형에 대해서는 자문 위원들은 지형분석 결과와 지질 정보를 결합한 2015년 방법을 일부 보완하여 그대로 진행해도 문제 없다고 판단하였다. 본 연구진은 북한의 토양침식 조건에 따라 토성이 변화할 것을 우려하였으나, 자문위원들은 그 부분에 대해서 우려할 필요가 없다고 언급하였으며, 마찬가지로 지질과 지형 정보로 예측이 가능하다고 판단하였다. 토심은 토양형하고 연결지어서 분석을 진행하고, (2.3.4에 설명할) 모형을 통해 보정한다면 큰 문제가 없다고 판단하였다. 유기물량 및 견밀도는 토양형 등으로 예측할 수는 있겠지만 변위가 커서 그 신뢰도는 높지 않다고 판단해야 한다고 언급하였다. 마지막으로, 토양수분도 토양형과 연관이 있을 수 있으나, 수치고도모형을 바탕으로 하는 지형변수 도출 또한 나쁘지 않은 방법으로 여겼고 동의하였다.



그림 27 분석에 이용한 산림입지토양도의 분포도

2) 토양예측 알고리즘의 개선

2015년 토양예측 알고리즘(한국임업진흥원, 2015)을 바탕으로, 앞서 도출한 남한 토양정보, 북-중 접경지대 토양정보, 토심예측 알고리즘을 바탕으로 산림토양정보 예측을 진행하였다. 2.2에 설명하였던 토양형성단위를 기초로 산림토양 예측결과를 도출하는 형태로 알고

리즘을 설계하였다. 먼저 산림토양형의 경우 2015년과 마찬가지로 남한의 산림입지토양도 내 산림토양 분류기준에 따라 분류하였으며, 중국정보를 기반으로 고도에 따라 포드졸 토양을 새로 분류하는 형태로 구분을 진행하였으며 도출 방법은 기후가 반영되고 중국정보가 일부 반영되었다는 것을 제외하면 2015년 결과(한국임업진흥원, 2015)와 거의 동일하다.

변환한 토양형을 기반으로, 북한토양예측에 더 잘 맞는다고 판단하였던 1:25,000 토양정보를 이용하여 각 토양형과 지질 별로 토심과 토성, 유기물량을 예측하였다. 먼저 토심은 앞선 RUSLE로 도출된 지난 30년간의 침식 깊이를 모의하고, 그 결과를 바탕으로 보정 작업을 진행하였다. 유기물량 또한 1:25,000에 따른 분석 결과를 바탕으로 분석을 진행하였으나, 보정을 위한 모형 결과가 본 모형의 결과와 상이하게 도출되어 이를 보정하는 작업을 진행하지는 못하였다. 견밀도는 1:5,000토양도를 토대로 토양형에 따른 견밀도를 부여하였으나, 1:5,000토양도의 토양정보가 충분치 않아, 국립산림과학원(2012)의 1:5,000 토양도 작성 매뉴얼에 나와있는 토양형에 따른 대표 견밀도를 부여하는 방법으로 예측을 진행하였다. 토성 또한 견밀도와 마찬가지로 방법으로 진행하였다. 마지막으로 토양수분은 아래와 같은 지형수분지수(Topographical Wetness Index)를 이용하여 계산하였다. 여기서, A_s 는 사면유역지수, β 는 경사도를 말한다.

$$TWI = \frac{\ln A_s}{\tan \beta}$$

마지막으로 남한 지역에서는 발견하기 힘든 포드졸성 토양의 분류 방법 또한 2015년 연구 결과를 따르면 문제가 없다고 자문위원이 판단하였고 그 판단을 따랐다.

2.4 연구 결과

2.4.1 예측 토양정보 목록

2.2장에서 구축한 환경 자료와 2.3장에서의 알고리즘 개선을 통해 도출된 토양정보는 표 16과 같다. 토양형, 토양수분, 견밀도는 정확도 자료를 도출하기 어려운 점을 고려하여 단일 정보로 도출하였으며, 토성, 유기물량은 정확도를 평가할 수 있는 표준편차 등의 정보가 함께 도출되었다. 토심은 보정된 결과와 미보정된 결과, 보정을 위하여 도출된 모의결과를 같이 제시하였는데, 이는 사용 용도와 목적에 따라 다양하게 도출될 수 있기 때문이었다.

표 16 예측 토양정보 목록

토양정보	주제도명	단위	설명
토양형	토양형	없음	포드졸성 토양을 제외하고는 산림입지토양도 분류기준에 의거함
토성	토성	없음	8개의 토성 분류기준에 의거 분류 진행
	정확도	0~1까지의 비율	예측 알고리즘에 따라 도출된 토성정보의 신뢰도
토심	미보정 토심	센티미터(cm)	보정작업을 거치지 않은 토심정보
	미보정토심의 표준편차	센티미터(cm)	보정작업을 거치지 않은 토심정보의 표준편차(정확도 평가 자료)
	30년간 침식깊이	cm/30년	30년간 예상되는 침식량, 침식모델링 바탕 자료
	보정된 토심	센티미터(cm)	보정작업을 거친 토심정보
유기물량	유기물량	%	전체 토양에서 유기물이 차지하는 비중
	유기물량의 표준편차	%	정확도 평가 자료
토양수분	wetness-index	없음	상대적으로 수분의 많고 적은 정도
견밀도	견밀도 (A/B층)	없음	5개의 순서형 범주(1~5단계, 심송~강견)으로 구분된 결과

2.4.2 예측 토양정보 도면

모든 도면은 기본 자료(SRTM)의 해상도 및 분석에 있어서의 호환성을 고려하여 30m 격자 단위 해상도로 도출되었다. 이는 약 1:25,000 해상도에 해당하는 도면이나, 분석과정에서의 저해상도 데이터(e.g. 1:1,000,000 지질도)의 반영, 분석 과정에서 신뢰도 문제 등 때문에, 도면에 따라 1:25,000~50,000 사이에 있는 해상도라고 평가할 수 있을 것이라 판단된다.

1) 토양형

그림 28은 토양형 예측 도면 도출결과로, 남한의 산림입지토양도의 토양형 구분 방식에, 남한에서는 관찰하기 어려운 포드졸 토양(PO)이 추가된 도면이다. 개마고원 주변 산간에 주로 분포한다고 예측되는 포드졸 외에는 대개의 산림토양형 분류가 그러하듯 지질에 따라 크게 나뉘는 것을 확인할 수 있다.

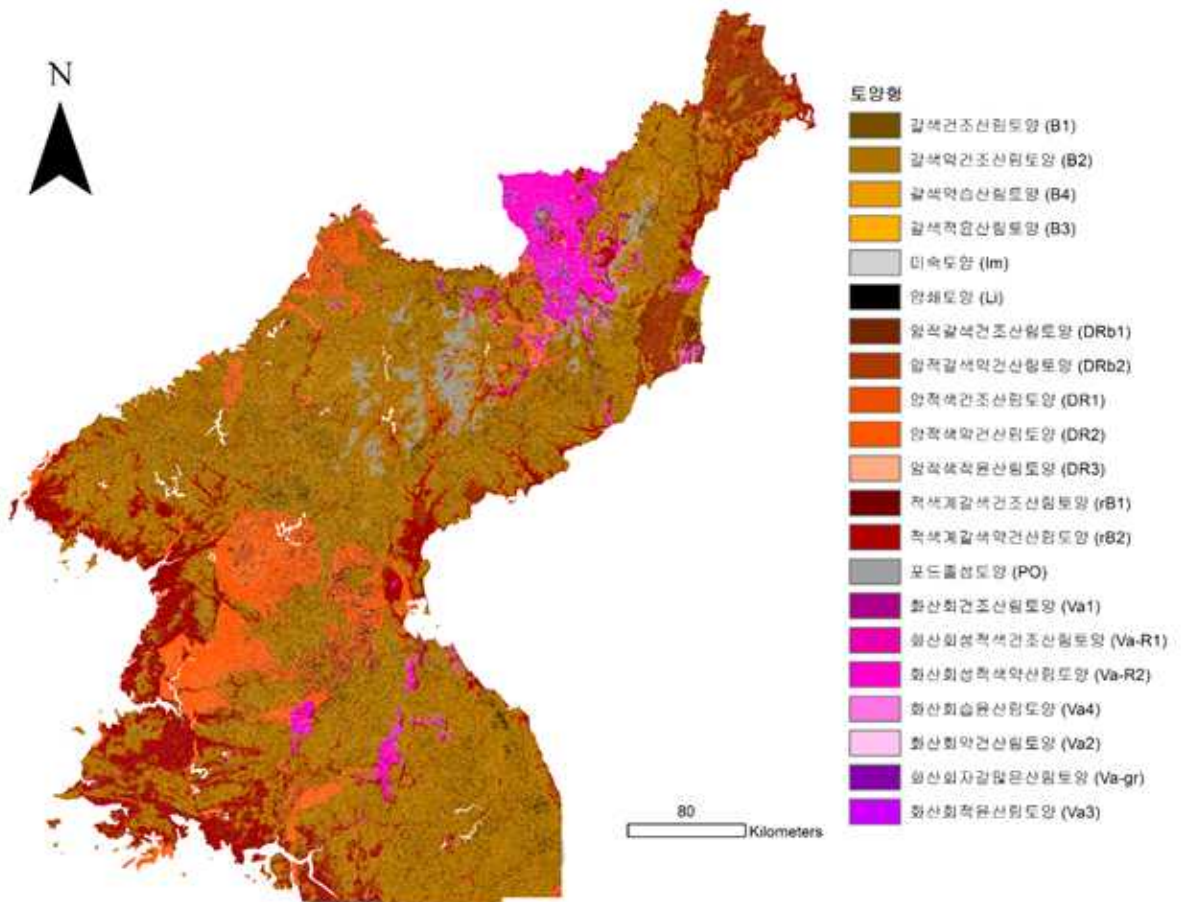


그림 28 토양형 예측 도면 도출결과

표 17 북한 산림토양형 예측 결과의 면적비

토양군	토양아군	토양형	기호	면적비(%)
갈색산림 토양	갈색산림 토양	갈색건조산림토양	B1	15.33
		갈색약건조산림토양	B2	17.02
		갈색적윤산림토양	B3	8.80
		갈색약습산림토양	B4	12.66
		아군합계		
	적색계 갈색산림 토양	적색계갈색건조산림토양	rB1	2.20
		적색계갈색약건조산림토양	rB2	12.22
		아군합계		
	토양군합계			
암적색산 림토양	암적색 산림토양	암적색건조산림토양	DR1	2.75
		암적색약건조산림토양	DR2	5.98
		암적색적윤산림토양	DR3	2.19
		아군합계		
	암적갈색 산림토양	암적갈색건조산림토양	DRb1	0.88
		암적갈색약건조산림토양	DRb2	2.86
		아군합계		
토양군합계				14.65
화산회산 림토양	화산회산 림토양	화산회건조산림토양	Va1	0.46
		화산회약건조산림토양	Va2	0.53
		화산회적윤산림토양	Va3	0.20
		화산회습윤산림토양	Va4	0.47
		화산회성적색건조산림토양	Va-R1	0.45
		화산회성적색약산림토양	Va-R2	2.81
		화산회자갈많은산림토양	Va-gr	0.33
		토양군합계		
미숙토양	미숙토양	미숙토양	Im	4.39
암쇄토양	암쇄토양	암쇄토양	Li	5.10
포드졸성 토양	포드졸성 토양	포드졸성토양	PO	2.37
총 계				100

표 17은 토양형 예측 결과에 대한 북한 내의 각 토양형별 면적비를 나타낸 결과이다. 남한의 토양과 유사하게, 갈색산림토양 계열 토양형이 전체의 절반 이상(68.3%)을 차지하는 결과가 도출되었다. 그 외에도 퇴적암, 화산암 등의 조건에 따라 암적색산림토양(14.76%), 화산회토양(5.2%) 등의 토양이 분포하는 것으로 예측된다. 기후조건에 따라 북한에 있을 것으로 예상되는 포드졸성 토양은 북한 전체 면적의 2.4%를 차지할 것으로 예측되었다.

토양형 예측 결과는 2015년부터 개발된 분석 방법을 바탕으로, 많은 자문과 보정을 거친 결과이기 때문에 정확도가 비교적 높다고 판단된다. 따라서 1:25,000의 해상도에 가까운 예측 주제도라고 판단할 수 있다. 다만 토양형을 구별하기 위해 중요한 산림지황폐화와 같은 토지이용조건이 반영되지 못했다는 한계가 있으며 추가 연구를 통한 보완이 필요하다.

2) 토성

그림 29은 토성 예측 도면 결과로, 남한의 산림입지토양도의 토성 분류 기준을 따랐다. 북한에서 예측된 토성은 8개의 토성 종류 중에 5개의 종류만 예측되며, 그 중 절반 정도가 모래, 점토, 실트가 고루 분포한 양토(L)인 것으로 예상되었다(표 18).

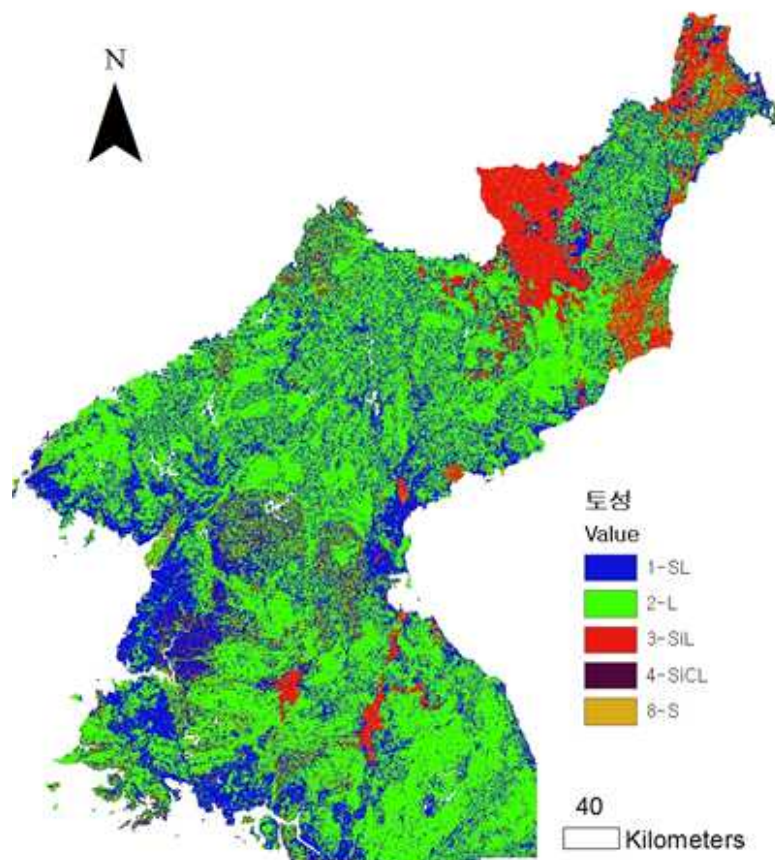


그림 29 토성 예측 결과

이전에 언급한대로 토성과 환경자료와의 상관관계는 높지 않은 결과가 도출되어, 자문위원의 조언에 따라 기반암 및 토양형을 기반으로 예측을 실시하였으며, 이에 따라 결과가 도출되었다. 8개의 토성 분류 기준 중 5개만 사용되어 분류된 이유는 나머지 토성 구분 단위와 관련된 정보가 현재까지는 불충분하기 때문으로 보이며, 향후 연구를 통해 이 부분을 보완해 나갈 필요가 있다. 또한 이 연구에서 반영하지 못한 남한토양자료와의 통계분석을 추가적으로 진행하여, 정확도를 향상시킬 필요가 있다. 따라서 토성 예측 도면의 정확도는 중간 수준으로 1:25,000와 1:50,000 사이의 해상도라 판단할 수 있다.

표 18 북한 산림토양 토성 예측 결과의 면적비

Code명	토성명	Sand(%)	Clay(%)	Silt(%)	면적비(%)
SL	사질양토	43-85	0-20	0-50	32.40
L	양토	23-52	7-27	28-50	55.31
SiL	미사질양토	0-50	0-27	50-90	10.70
SiCL	미사질식양토	0-20	27-40	40-73	1.04
S	사토	85-100	0-10	0-15	0.54
총 계					100

3) 토심

그림 30은 토심 예측 도면이다. 앞서 설명한대로 토양형에 따라 예상되는 토심 예측치를, RUSLE모형을 이용하여 보정한 값이다. 표 19에서 보이는 북한 산림토양 토심 예측 결과의 면적비를 확인하여 보면, 보정에도 불구하고 토심이 30cm 이하인 낮은 토심은 1.3%정도만 차지할 것으로 예상되었으며, 절반 정도가 50cm전후의 토심을 보이는 것으로 예측되었다. 반면 토심이 75cm이상 되는 지역 또한 1%가량밖에 되지 않는 결과가 도출되었다.

이 결과는 토지이용 특성이 일부 반영되었기 때문에, 토지이용 특성 자료들이 정확하다는 가정 하에 다른 토양정보에 비해서 비교적 정확도가 향상된 자료라고 판단할 수 있다. 단, 토지이용 자료로 사용된 환경부 토지피복도에 대한 북한 지역의 정확성에 대해서는 추가적인 검토가 요구되며, 현장 자료를 추가적으로 반영하여 보정을 진행할 필요가 있다. 하지만, 다른 자료에 비해서는 검토와 보정 단계를 몇 단계 더 거쳤기 때문에 1:25,000와 1:50,000 중 1:25,000에 더 가깝게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

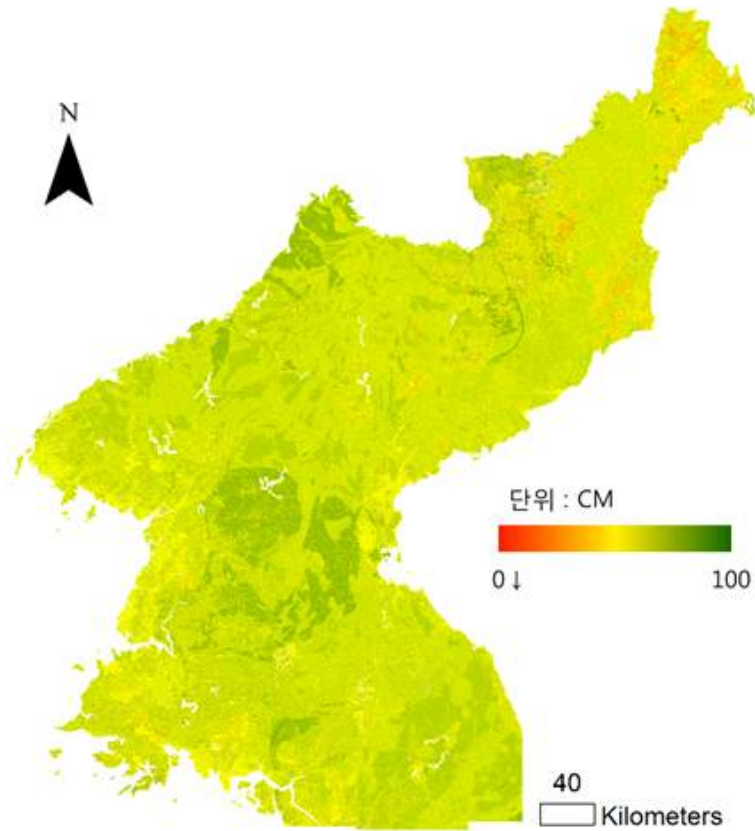


그림 30 토심 예측 결과

표 19 북한 산림토양 토심 예측 결과의 면적비

토심구간	면적비(%)
30cm 이하	1.30
30-45cm	5.11
45-55cm	18.83
55-65cm	59.67
65-75cm	13.92
75cm 이상	1.18
총 계	100.00

4) 유기물량

그림 31은 유기물량 예측 결과이다. 대체로 분석에 포함하였던 남한 일원에 비해서 높은 유기물량을 보이는 지점이 적은 결과로 도출되었으나, 북쪽 일원에 높은 유기물로 예측되는 지점이 관찰된다. 유기물량의 결과는 3~4% 사이의 지점을 중앙으로 정규 분포의 형태를 띠는 경향으로 예측되었다(표 20).

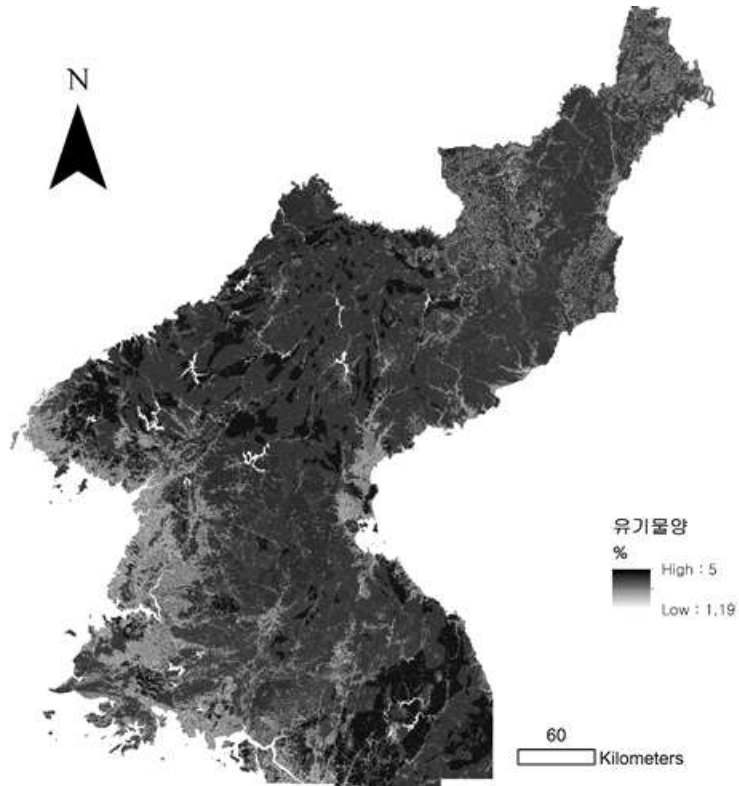


그림 31 유기물량 예측 결과

유기물량 예측 결과치는 보정 분석 결과를 반영하지 못하였고, 자문위원들은 인간의 영향에 따라 변위가 크기 때문에 크게 신뢰할 수 없어 저해상도로 판단하라고 자문하였다. 따라서 이 결과는 1:50,000의 해상도로 해석하는 것이 더 설득력이 높을 것으로 판단하였다.

표 20 북한 산림토양 유기물량 예측 결과의 면적비

유기물량 구간	면적비(%)
2.4% 이하	1.18
2.4 - 2.8 %	6.63
2.8 - 3.2 %	14.55
3.2 - 3.6 %	35.74
3.6 - 4.0 %	39.10
4.0 - 4.4 %	1.05
4.4 % 이상	1.74
총 계	100

5) 토양수분

그림 32는 토양수분 예측 결과이다. 앞서 언급했던 대로 지형수문지수를 이용하여 예측하는 것이 타당하다고 판단하여 분석을 진행하였고, 단위가 없는 상대적인 수치로서 도출된다. 그 결과는 대체로 0~9사이가 80~90%의 비율로 나타나는 결과로 도출되었다(표 21).

토양수분은 지형에 따른 사면의 물질이동에 큰 영향을 받기 때문에, 본 연구진은 지형수문지수만으로 토양수분을 판단해도 타당한 결과를 도출할 수 있다고 판단하였다. 이에 대해서 대부분의 자문위원들은 큰 이의를 제기하지 않았지만, 일부 자문위원은 과연 기후가 다른 지역들 간의 토양수분을 비교할 수 있는 수단이 될 수 있는지에 대한 의문을 제기하였다. 추후 연구에서는 이 부분에 대해서 추가적인 검토가 필요하며, 현재 수준의 예측 결과는 높은 해상도가 아닌 1:50,000의 해상도로 해석하는 것이 타당하다고 판단된다.

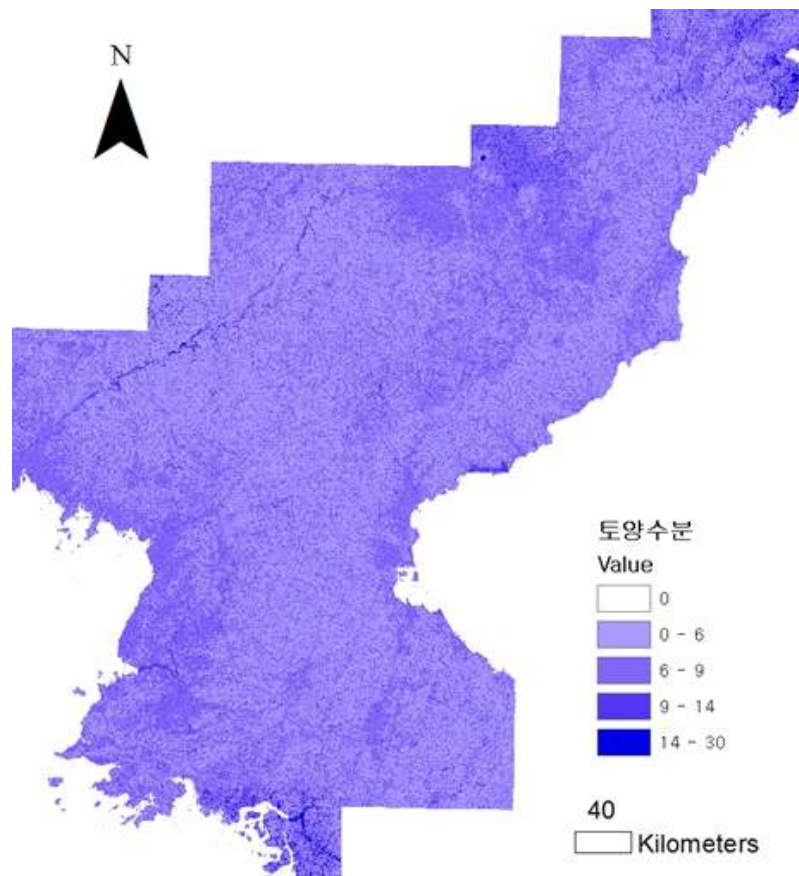


그림 32 토양수분 예측 도면

표 21 북한 산림토양 토양수분 예측 결과의 면적비

토양수분 구간	면적비(%)
0 이하	0.24
0 - 6	49.55
6 - 9	43.37
9 - 14	6.56
14 - 30	0.28
총 계	100

6) 견밀도

그림 33은 견밀도 A층과 B층에 대한 예측 결과이다. A층과 B층 모두 가장 무른 견밀도를 지닌 토양은 도출되지 않았으며, 강건 형태는 B층에서만 도출되었다. A층에서는 대부분 송(81%)형태의 토양으로 도출되었다(표 22).

앞서 언급하였던 대로 견밀도는 토양환경자료와의 상관성이 낮아 대표토양형 별 견밀도를 대입하는 방식으로 알고리즘을 구축하였다. 또한 토양자문위원들 또한 견밀도에 대해서는 그리 정확하게 도출하지 않아도 문제가 없다는 판단을 제시하였다. 따라서 이 자료는 정확도가 높지 않다는 판단 하에 참고용으로 사용할 필요가 있으며, 추후 추가적인 조사를 통한 보완이 필요하다.

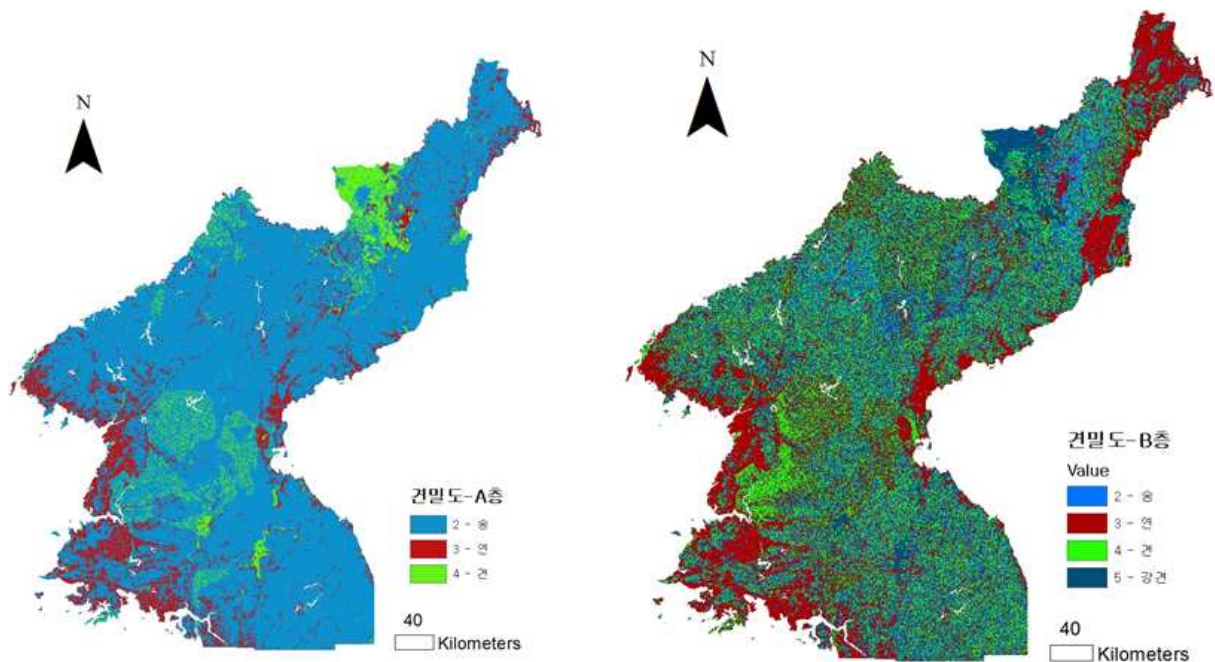


그림 33 견밀도 예측 도면

표 22 북한 산림토양 견밀도 예측 결과의 면적비

Code	Name	mm		Kg/cm ²		A층	B층
		최소	최대	최소	최대		
1	심송	-	4	-	0.4	-	-
2	송	5	8	0.5	1	81.15	17.97
3	연	9	12	1.1	2	12.22	31.69
4	견	13	16	2.1	3.5	6.63	24.59
5	강견	17	-	3.6	-	-	25.75
총 계						100.00	100.00

제 3 장 적정 조림수종 선정

3.1 연구 방법

3.1.1 자료 수집

적정 조림수종을 선정하기 위해 본 연구에서는 북한 산림조성계획에서 제시하고 있는 주요 수종, 양묘장에서 보관하고 있는 종자, 임농복합경영 대상지 내 조림수종, 로동신문과 조선중앙통신에 게재된 조림관련 기사 등 북한 자료를 수집·분석하였다. 특히 북한 공업출판사¹⁰⁾에서 발행한 「나무모 기르기(2014)」, 「양묘장일군참고서(2016)」 등 북한 주민 및 연구자들에게 제공하는 자료를 활용하였다. 국내자료 수집은 정부기관 및 NGO의 임업관련 대북 지원 사업 양묘장 조성, 종자 및 묘목지원, 조림사업 지원 등에 관한 자료와 북한 지원을 위한 종자 저장 및 양묘장 관련 자료를 수집·분석하였다.

북한의 주요수종에 관한 자료는 국내의 논문과 보고서를 수집하였는데 국립산림과학원의 북한 주요수종 자료가 주로 수집되었다. 수종의 표기와 관련하여 북한과 남한에서 사용하는 식물명이 서로 상이한 문제가 있다. 북한에서 부르는 이갈나무는 남한에서 잎갈나무로, 북한의 창성이갈나무는 남한의 일본잎갈나무에 해당한다. 본 연구에서는 국가생물종지식정보시스템에서 정의한 식물의 국명에 따라 표기하는 것을 기본으로 한다. 북한 자료 가운데 국가생물종지식정보시스템에 등재되어 있지 않은 식물의 경우에 한해 북한 국명을 그대로 표기한다.

적지선정지표 개발을 위하여 우리나라의 산림토양도, 산림입지도 및 맞춤형 조림지도 작성 방법에 관한 자료를 수집·분석하였다. 특히 북한 현지조사가 불가능하므로 국내에서 취득 가능한 자료를 고려하였다. 적지선정지표는 기후 인자, 지형 인자, 토양 인자로 서울대학교(2세부)에서 구축한 북한 산지토양정보 자료로 이루어졌다.

3.1.2 조림수종 선발

조림수종 선발을 위해서 목재이용, 사회적 요구 그리고 천연분포지역 등의 자료들을 수집·분석하였다. 수집 자료는 사회적 요구를 반영하기 위해 북한자료 이외에도 한국의 대북

10) 공업출판사는 북한 주민 및 연구자들에게 중공업분야 기술제공을 위한 참고자료를 발행하고 있다.

지원 사업 중 임업 및 산림복구 분야의 묘목, 종자 및 조림사업에 관한 것이 포함되어 있다. 대북 지원 사업에 관련된 국내 민간단체는 가장 먼저 발족한 민족화해협력 범국민협의회와 겨례의숲, 평화의숲 등이 있으며 겨례의숲 참여단체는 겨례의숲(본부), 민족화해협력 범국민협의회, 우리민족서로돕기운동, 평화의숲, 홍사단, 사랑의 연탄나눔운동, 한국산지보전협회, 한국녹색문화재단, 우리겨레하나되기운동본부, 늘푸른삼천 등이 있으며 참여단체는 직접적인 지원 사업 외에 홍보 및 모금후원사업도 하고 있다.

대북 지원 사업에 관련된 해외 단체는 푸른통일조국가꾸기운동(캐나다), OGKM(One Green Korea Movement)등이 있다. 국제 NGO는 한스자이델재단, 저먼 애그로 액션, 컨선 워드와이드 액션, 스위스경사지관리프로젝트 등이 있다. 정부기관으로는 산림청, 지자체는 강원도와 경기도에서 병해충방제, 나무심기, 종자지원, 묘목지원, 양묘장 조성사업 등을 지원하였다.

표 23 대북지원 유관기구

단체명	설립(년)	주요활동
민족화해협력 범국민협의회	1998	정당, 종교, 시민단체 협의회로 출범
겨례의숲	2007	17개 단체 컨소시엄
평화의숲	1999	북한 산림복구를 목적으로 최초 설립
동북아 산림포럼	2000	몽골 사막화 방지 조림사업
미래숲	2002	중국 쿠부치사막 조림사업
기후변화센터	2008	아시아 녹화기구 사무국 역할
아시아 녹화기구	2014	-

(자료 : 산림청, 2016)

조림수종선발을 위한 북한 주요 수종과 분포 지역에 관한 자료는 국내외 관련 논문과 보고서를 수집·분석하였으며 북한 주요 조림 수종 및 지대별 조림 수종 자료를 분석하였다. 산림청 발간자료에 적지가 제시된 주요 수종은 가문비나무, 분비나무, 보천소나무, 잎갈나무, 자작나무, 사시나무, 피나무, 전나무, 종비나무, 황철나무, 가래나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 소나무, 리기다소나무, 수삼나무, 신갈나무, 아까시나무, 오리나무 등 22종이 있다(산림청, 2016). 이외에도 주요 수종 및 용도별 수종에 관한 국립산림과학원 자료를 수집·분석하였다.

3.1.3 적지 선정 지표 개발

조림수종의 적지 선정을 위해서는 수종의 생태적 특성을 고려한 기후와 환경, 특히 지형과 토양조건이 중요하기 때문에 관련 자료를 수집 분석하였다. 특히 북한 현지조사가 불가능하므로 국내 산림입지조사방법, 산림토양도작성 및 맞춤형 조림지도에 이용된 지표를 수집·분석하였다. 적지적수 조림을 위한 간이산림토양조사(국립산림과학원, 2009)에서 이용한 토양인자인 토심, 지형, 건습도, 경사도, 퇴적양식, 침식, 견밀도, 토성 등의 특성에 관한 자료를 수집 분석하였고 이런 인자들의 자료가 취득 가능한지를 검토하였다. 이외에도 기후대, 모암, 해발고, 방위, 유기물 등의 인자 자료를 수집·분석하였다. 최종적으로 서울대학교(1세부)에서 구축한 북한 산지토양정보 자료 중 기후대, 지형, 고도, 방위, 경사, 모암, 토성, 토심, 습도, 유기물, 견밀도가 지표개발 자료로 이용되었다.

3.1.4 도면 제작

본 연구에서 사용된 자료는 크게 기후 인자, 지형 인자, 토양 인자의 세 가지로 구분할 수 있다. 자료의 수집은 기존 문헌에 참고하여 선발된 조림 수종의 정보를 토대로 각 수종이 분포하는 최적 범위에 대한 고려가 가능한 항목으로 구성되었다. 환경 인자는 기후대, 지형, 고도, 방위, 경사, 모암, 토성, 토심, 습도, 유기물, 견밀도의 11개 변수로 모든 자료는 공간화를 통해 ArcGIS에서 분석이 가능한 형태로 생산되었다.

기후 인자는 연평균 기온을 기준으로 하는 기후대 1개 변수가 선정되었다. 식물종의 특성에 따라 분포에 영향을 끼치는 인자는 매우 다양하고 적정 범위에 대한 기준도 지역에 따라 다소 차이가 있다. 일반적으로 기온과 강수량을 가장 중요한 기후 영향으로 간주하는데, 조림지와 같은 관리 지역의 경우 강수량에 대한 영향은 식물의 자연 분포에 비하여 다소 자유롭다. 일반적으로 기온이 상승하면 고산식물과 극지·고산식물의 호흡률도 상승하게 되며, 식물이 견딜 수 있는 범위인 내성범위 이상으로 높은 기온이 계속되면 식물의 앞에서 증발산량이 많아지면서 식물의 세포조직에서 탈수나 건조 현상이 일어나 세포막이 손상되고, 체내 단백질이 변성된다. 동시에 식물이 호흡하는데 필요한 에너지가 광합성을 통해 생산하는 양보다 많아지면 식물은 생리적인 스트레스를 받아 말라죽게 된다(공우석 등, 2014). 반면, 남방계 활엽수의 경우 기온의 상승이 더 높은 경쟁력을 지닌 적합한 환경으로 변화하게 되어 위도상으로는 북쪽으로, 고도상으로는 산의 위쪽으로 분포 범위가 증가할 것으로 예측하고 있다(국립수목원, 2015). 수종별로 서로 상이한 적정 기온 범위가 어느 정도인지에 대한

연구는 지속적으로 이루어지고 있으나, 본 연구에서 목표로 하는 조립 수종 전반에 대한 정보를 함께 고려해야 하는 경우, 특정 기온 조건 또는 범위를 한정하는데 사용되는 기본 정보 수준에 있어 제약이 있다. 따라서 본 연구에서는 전통적으로 수종의 생육 가능 여부를 구분하는 쾨펜의 기후 구분 기준을 적용하였다. 한반도의 기후대는 최한월 평균 기온을 기준으로 0°C 미만은 한대, 0-6°C는 한온대, 6-13°C는 냉온대, 13-18°C는 난온대, 18°C 이상은 난대로 구분한다(franz Rubel & Markus Kottek, 2010). WorldClim에서 배포하고 있는 자료를 사용하여 이 구분을 적용한 결과, 북한 지역은 한대, 한온대, 냉온대로 구성된다(그림 34). 백두산이 위치한 양강도와 개마고원을 중심으로 한 자강도와 함경남도를 중심으로 한대 기후대가 분포하고 있다. 한온대 기후는 한대 기후 외곽으로 완충대의 형태로 분포하고 있고 남한 지역의 강원도로 연결되는 형태를 보이고 있어 백두대간의 연결성과 일치되는 결과로 간주된다. 이를 제외한 나머지 상대적으로 고도가 낮은 지역은 냉온대 기후대에 해당한다.

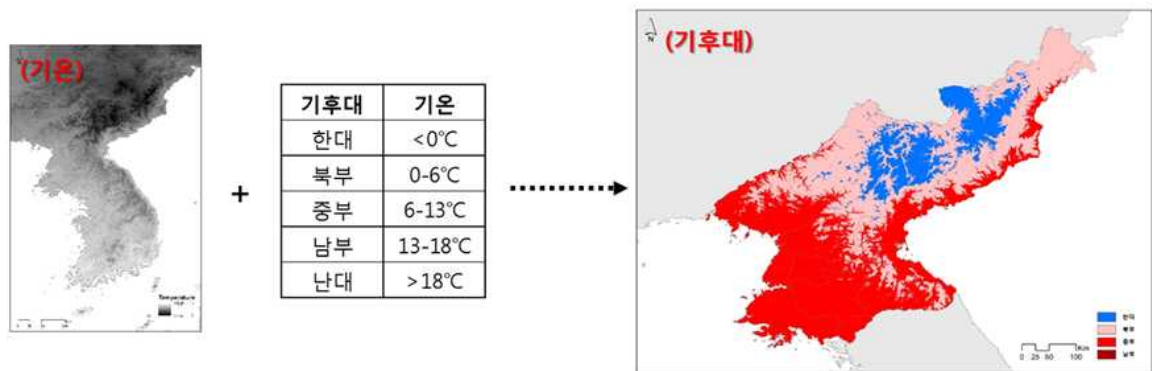


그림 34 최한월 평균 기온을 이용한 기후대 등급화 과정

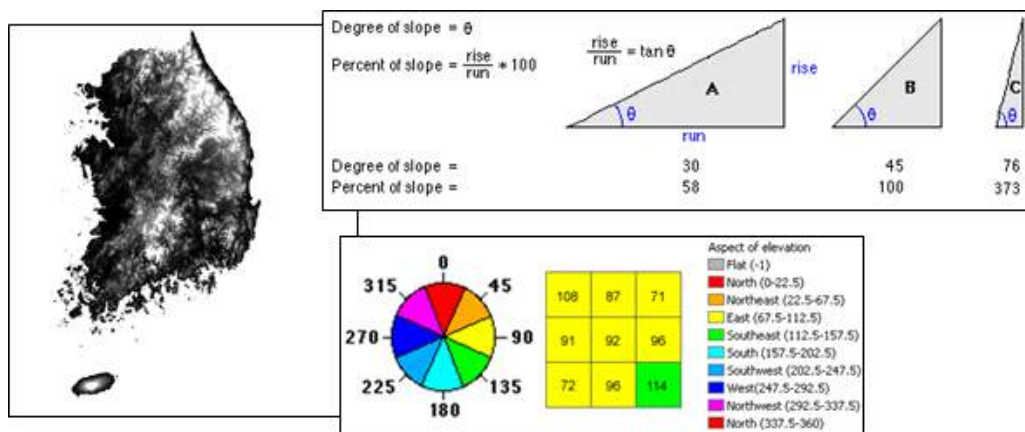


그림 35 지형 자료를 활용한 경사 및 사면 추출 방법

지형 인자는 지형, 고도, 방위, 경사의 4개 변수로 구성된다. 지형 인자는 산정, 산록, 산복의 세부 항목으로 구성되는 산지 구분을 따르고 있다. 이 변수는 서울대학교 연구진 도출 자료로 30m X 30m의 공간 해상도를 가진다. 이와는 달리, 고도, 경사, 방위 자료는 USGS에서 제공하는 DEM 자료를 기반으로 계산되는데, 200m X 200m의 공간 해상도를 가지고 있다(그림 35). DEM으로부터 표현되는 고도를 기반으로 경사와 방위에 대한 격자 자료를 생성하고 이를 30m로 상세화 하는 과정을 통해 서울대학교 연구진이 제공한 자료와 공간 해상도를 일치시켰다.

토양 인자는 서울대학교 연구진에서 생산한 자료를 활용하였다(그림 36). 모암, 견밀도, 토심, 토성, 유기물, 습도의 6개 항목으로 구성된 변수는 30m X 30m의 공간 해상도를 가지고 있다. 변수의 값은 각 항목별로 지닌 특성에 따라 분류가 되었으며 단위가 상이하게 나타나기 때문에 다음 연구 진행 단계인 점수화 과정을 거치게 된다(표 24).

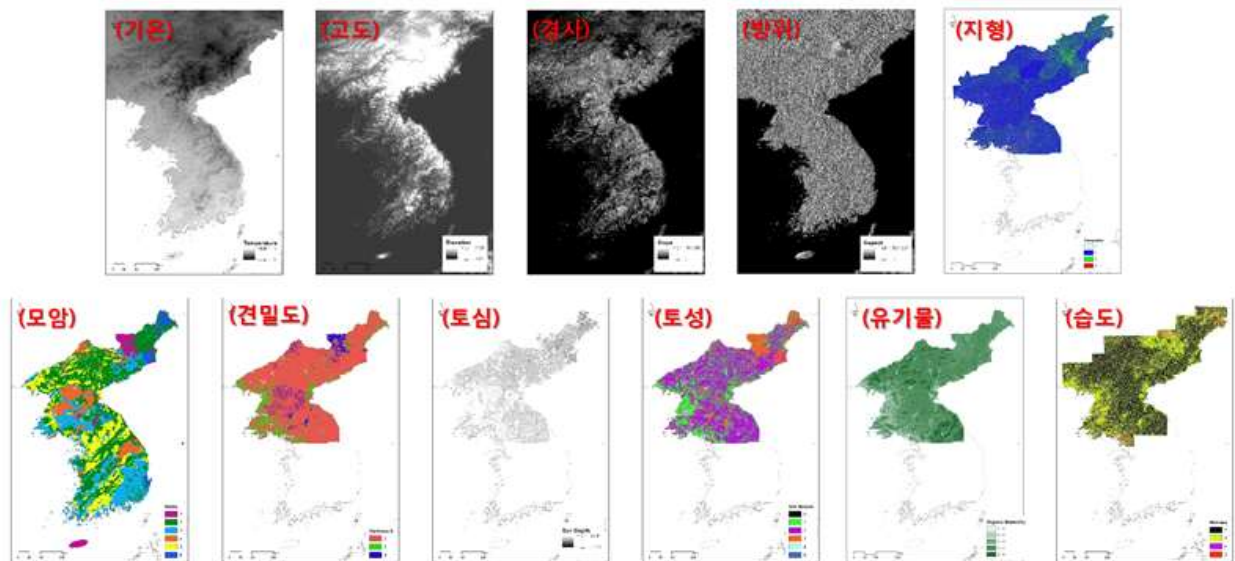


그림 36 변수 지도 자료

변수의 구체적인 내용을 살펴보면, 기반암은 화산암, 심성암, 퇴적암, 석회암, 변성암, 화산쇄설물로 분류된다. 화산암은 백두산 일대에 분포하고 있고, 심성암은 넓은 범위에서 분포가 확인된다. 퇴적암은 북한 지역에서는 양강도의 남부와 함경남도 지역, 평안남도 이남의 지역에서 넓게 분포하고 있다. 석회암은 평안남도와 함경남도 지역, 자강도의 북부 지역에 분포한다. 변성암은 가장 넓은 분포를 보이는 심성암 지역에서 패치 형태로 나타나고 있다. 화산 쇄설물은 나진선봉시, 함경북도의 일부 지역에서 분포가 확인된다.

토성은 사질양토, 양토, 미사질양토, 미사질식양토, 사질식양토, 식양토, 양질사토, 사토로

구분되고 사질양토, 양토가 가장 넓은 범위에서 나타났다. 미사질식양토는 양강도, 함경북도, 나진선봉시에 분포하는 특징을 가진다.

토심은 cm로 표기가 되고 지형 기록에 따라 깊이가 달라지는 방법론을 따르고 있다. 토양수분은 건조, 약건, 적윤, 약습, 습윤으로 토양이 지닌 습도를 구분한다. 견밀도는 심송, 송, 연, 견, 강견을 기준으로 구분되고, 북한의 경우 송, 연, 견의 견밀도만 나타나고 있다. 유기물양은 약간 있다, 있다, 많다, 아주 많다의 네 가지 기준으로 분류하는데, 아주 많다에 해당하는 지역은 분포하지 않고 있다.

지형은 산정, 산복, 산록, 하천을 대분류로 구분된다. 하천의 경우 조립 수종 선정에 있어 제외하였고, 산정, 산복, 산록의 위치에 따라 각 수종별로 적합한 지형 특성으로 분석된다. 이러한 지형 특성을 나타내는 정보 외에, 고도, 경사, 방위의 세부 지형 값을 추가로 분석에 이용하였고 이 가운데 고도는 기후 인자와 더불어 조립 수종 분포에 가장 큰 제한요인으로 이용된다.

표 24 변수별 단위 및 세부 구성

분류	구분	단위	설명
토양	기반암	없음	1 : 화산암, 2 : 심성암, 3 : 퇴적암(석회암제외), 4 : 석회암, 5 : 변성암, 6 : 화산쇄설물
	토성	없음	1 : SL(사질양토), 2 : L(양토), 3 : SiL(미사질양토), 4 : SiCL(미사질식양토), 5 : SCL(사질식양토), 6 : CL(식양토), 7 : LS(양질사토), 8 : S(사토)
	토심	센치미터(cm)	보정작업을 거친 토심정보
	토양수분	없음	1 : 건조, 2 : 약건, 3 : 적윤, 4 : 약습, 5 : 습윤
	견밀도	없음	1 : 심송, 2 : 송, 3 : 연, 4 : 견, 5 : 강견
	유기물양	%	0-2% : 약간있다, 2-4% : 있다, 4-6% : 많다, 6%이상 : 아주많다
지형	지형분류	없음	1 : 산정, 2 : 산복, 3 : 산록, 4 : 하천
	고도	m	고도 정보
	경사	°	경사 정보
	방위	°	방위 정보
기후	기후 구분	없음	0℃ 미만 : 한대, 0-6℃ : 한온대, 6-13℃ : 냉온대, 13-18℃ : 난온대, 18℃ 이상 : 난대

11개의 환경 변수는 수종이 지닌 최적 범위에 따라 모두 재분류가 되었고, 재분류 과정에서 총점 5의 점수를 부여한다(그림 37). 수종에 가장 적합한 각 변수는 5점, 가장 적합하

지 않는 변수는 1점으로 적용되었고, 각 변수들의 총점을 이용하여 조림 수종의 적지 수준을 분석하였다(그림 38). 이 과정에서 변수 값이 1점으로 나타난 격자가 최소 1개 이상 존재할 경우, 이 격자는 조림 수종 적지에서 제외하였다. 이 결과로 기후와 고도가 가장 큰 제한 요인으로 나타났고, 현재 알려져 있는 식물종의 최적 분포 범위에서 벗어난 환경 조건에 해당하는 각 변수별 1점 격자는 조림 수종의 적지에서 제외하였다.

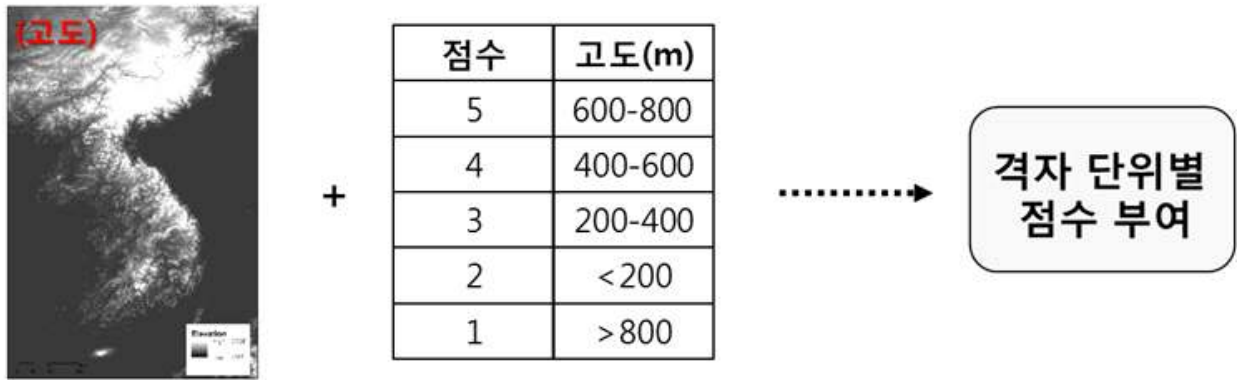


그림 37 변수별 점수화 모식도

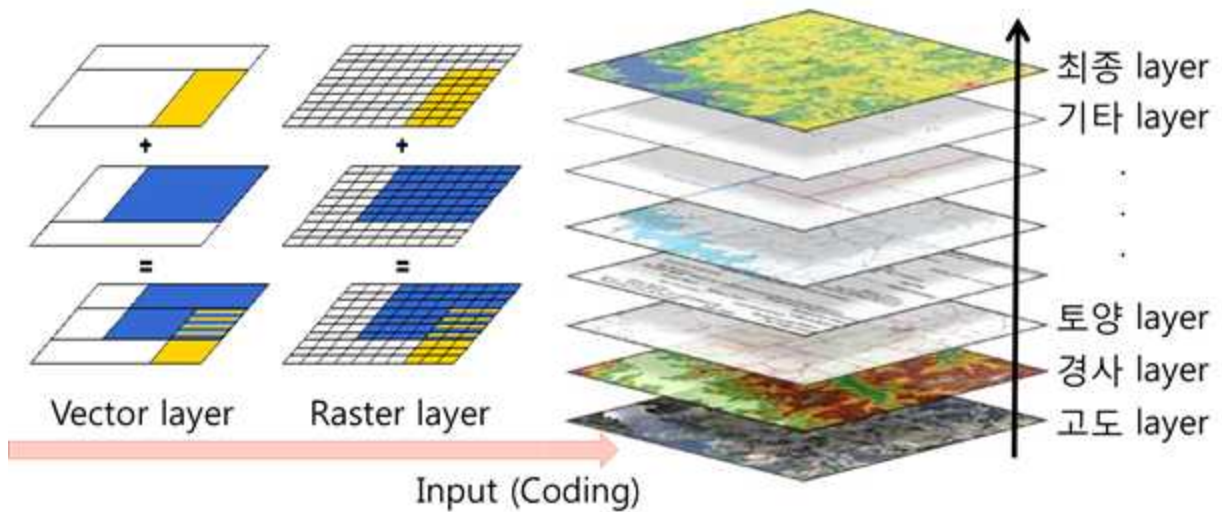


그림 38 변수 적지 총합 도출 모식도

모든 변수에 대한 총점은 이론적으로 11점에서 55점의 총합으로 나타날 수 있는데, 분석 결과 모든 수종에서 55점의 만점 지역은 없는 것으로 나타났다. 수종별 총점은 다소 차이가 있지만 전반적으로 50점 초반 이상의 총점을 지니고 있다. 이 과정을 통해 나타난 점수는

급지별로 재분류하여 정보를 확인할 수 있도록 가공되었다. 급지 등급은 50-55점은 1급지, 45-50점은 2급지, 40-45점은 3급지, 35-40점은 4급지, 30-35점은 5급지, 11-30점은 6급지를 기준으로 한다.

생산된 정보의 활용 측면에서 ArcGIS에서 사용하는 자료의 특성상 각 수종에 대한 정보가 과편화 되어 있는 경우 정보의 이용에 큰 제한을 지닐 수 있다. 따라서 정보의 호환성과 활용성을 높이기 위하여 최소 단위로 정보를 압축할 필요가 있다. 이를 위하여 최종 도출된 급지별 정보를 이용하여 7개 주요 수종의 정보를 단일한 정보로 압축하는 과정을 거쳤다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 코드화를 통한 방법을 적용했다(그림 39). 7개의 자리수 정보는 7개의 주요 수종의 종류를 나타내고, 수의 크기 정보는 1-5까지의 급지를 의미한다. 7개의 주요 수종의 종류에 대한 정보는 높은 자리수로부터 상수리나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 자작나무, 잣나무, 잎갈나무, 소나무의 순으로 배열되어 있다.

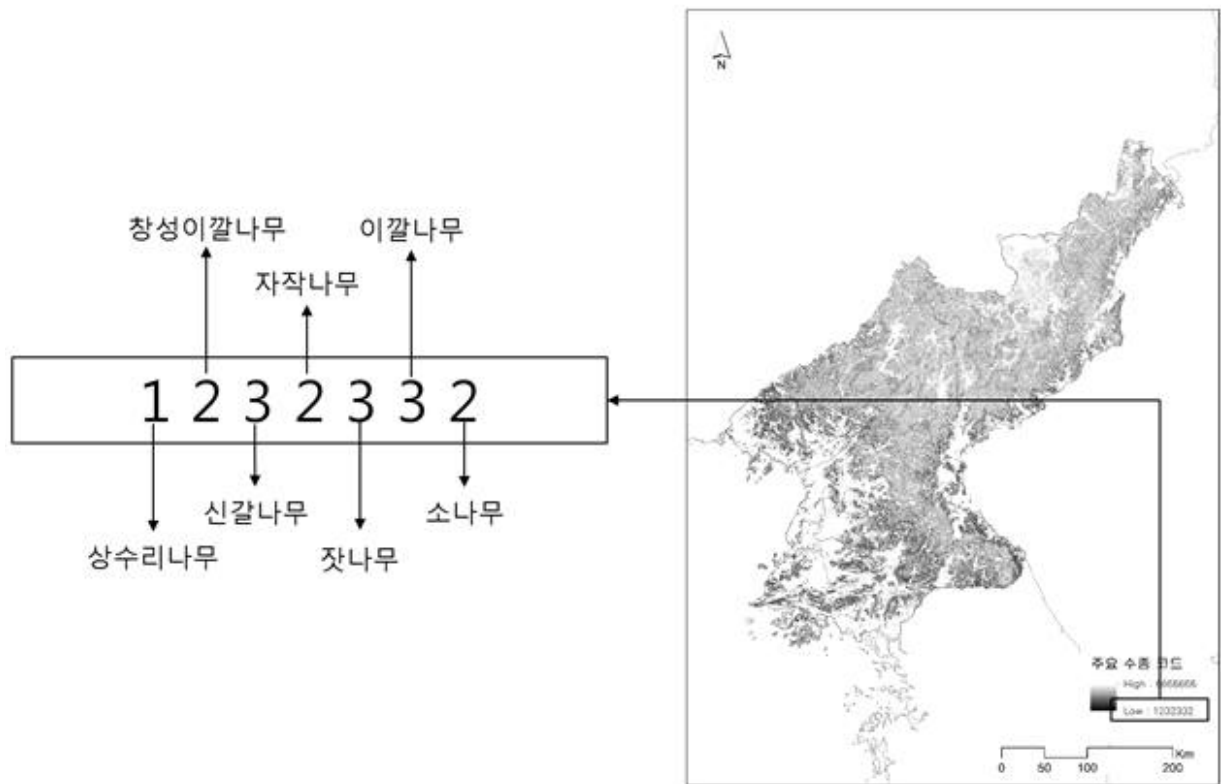


그림 39 연구 결과 코드화 예시

3.2 연구 결과

3.2.1 북한 수종 자료 분석

북한은 산림생태계 회복 및 관리를 위해 산림건설총계획(2013-2042)을 수립하였으며, 1단계 기간(2013-2022)동안 168만 2천ha를 조성할 것을 계획하였다¹¹⁾. 1단계 기간 중 인공조림 면적은 149만 3천여ha, 자연갱신(천연갱신) 면적은 18만 9천여ha로 계획하였으며, 이때 채종림, 연료림, 섬유제지림 면적 증가가 계획에 포함되어 있다. 또한, 양묘장 현대화를 통해 좋은 종자와 나무모(양묘)를 생산하여 조림목표를 달성할 계획을 가지고 있으며, 주요 경제수종들을 선정하고 100여개의 품종들을 육성하기 위해 노력하고 있다(표 25)¹²⁾. 또한, 양묘장 현대화를 통해 일본잎갈나무(낙엽송), 소나무, 아까시나무, 잣나무, 오리나무류, 가래나무, 분지나무, 오동나무류, 밤나무, 참나무를 포함한 다양한 수종의 묘목을 생산하기 위해 노력하고 있다¹³⁾.

표 25 북한 주요 경제수종 분류

분류	수종
기름원료수종	잣나무, 기름밤나무, 산수유, 호두나무 등
섬유원료수종	이태리포플러, 오동나무류, 버드나무류, 닥나무 등
산과실수종	단나무, 들쭉나무, 비타민나무, 개암나무 등
약용수종	두충나무, 황벽나무, 산수유 등
먹이수종	아까시나무, 싸리나무류, 비슬나무 등

(자료 : 한스자이델 재단 내부 자료)

북한의 임농복합경영 주요 수종으로는 일본잎갈나무(낙엽송), 잣나무, 밤나무, 단나무 등 과실수 등이 포함되어 있으며(표 26), 식재 간격은 대상지의 특성, 수종별로 다르게 나타났다. 대표적으로 스위스 외무부 산하 개발협력청(Swiss Agency for Development and Cooperation, SDC)의 지원을 받아 2009년 초반에 총 14개의 지역 양묘장이 설립되었으며, 각각의 양묘장은 연간 1만본 이상의 과실수 및 조림 묘목을 생산하는 것을 목표로 임농복합경

11) 한스자이델재단 내부자료

12) 한스자이델재단 내부자료

13) 한스자이델재단 내부자료

영을 위한 수종을 지원하고 있다. 지대별 임농복합경영을 위한 조림수종을 지정하고 있으며, 한 예로 북한 중부산지 지역의 주요 수종을 보면 표 26과 같다.

표 26 북한 임농복합경영 주요 수종과 대상지

	주요 수종		대상지
1	<i>Larix Kaempferi</i>	일본잎갈나무	황해북도
2	<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	황해북도 수안군
3	<i>Robinia pseud acacia</i>	아까시나무	사리원시, 린산군
4	<i>Ulmus pumila</i>	비슬나무	수안군, 서흥군, 사리원, 연산군
5	<i>Eucommia ulmoides</i>	두충나무	황해북도 강서구역, 남포시, 연탄군
6	<i>Broussonetia Kazinoki</i>	닥나무	남포시 강서구역
7	<i>Aronia melanocarpa Michx</i>	단나무	황해북도 사리원시, 황해남도 웅진군, 배천군, 강원도 원산시, 평양시
8	<i>Morus alba</i>	뽕나무	평양시 만경대 구역, 남포시 강서구역
9	<i>Hippophaea rhamnoides</i>	비타민나무	수안군
10	<i>Evodia daniellii</i>	쉬나무	전지역
11	<i>Xanthoceras sorbifolia Bunge</i>	문관나무	전지역
12	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	초피나무	서흥군과 연산군을 포함한 전국 150여개 시, 군
13	<i>Juglans cordiformis</i>	쪽가래나무	
14	<i>Zizyphus mill</i>	대추나무	강원도 원산시 삼태리
15	<i>Juglans regia. Juglans sinensis</i>	호두나무	자강도 성간군, 강계시
16	<i>Castanea crenata</i>	밤나무	황해북도 사리원시, 은파군, 서흥군, 연탄군
17	<i>Crataegus pinnatifida</i>	산사나무	
18	<i>Prunus ansu</i>	살구나무	
19	<i>Diopyros Kaki</i>	감나무	평양시 순안구역, 평안북도 피현군, 남포시 온천군
20	<i>Paulownia tomentosa</i>	참오동나무	황해북도 신평군 선암리
21	<i>Populus kurink</i>	포플러	함경남도, 강원도, 평안남도, 황해남북도의 해안지대와 평양

(자료 : MoLEP, 2011)

표 27 북한 임농복합경영 해발고도에 따른 수종 및 작물배치(안)

해발고도(m)	임농복합경영을 위한 수종 및 작물
1,000	일본잎갈나무, 잣나무, 비타민나무, 기름밤나무, 감자, 만삼, 황기, 조선대황
800	황벽나무, 두릅나무, 단나무, 메밀, 기장, 고추, 더덕, 죽도리풀, 삼주, 두릅
600	밤나무(향토종), 두충나무, 오동나무, 문배나무, 콩, 도라지, 잔대
400	이태리포플러, 벼
200	호두나무, 산수유, 초피나무, 고구마

(자료 : 한스자이델 재단 내부 자료)

2014년 1월부터 2016년 8월까지 조선중앙통신, 로동신문에 게재된 조림관련 기사에 반복적으로 언급된 주요 조림수종은 표 28과 같으며, 일본잎갈나무, 잣나무, 스트로브스나무 등의 순위로 나타났다.

표 28 로동신문, 조선중앙통신 산림관련 기사에 언급된 조림수종 (2014.1-2016.08)

수종	빈도	수종	빈도
둥근참나무	1	은행나무	2
분비나무	1	전나무	2
비타민나무	1	절광이나무	2
살구나무	1	리기다소나무	5
붉은겹질소나무	1	쉬나무	3
오동나무	1	감나무	3
주목	1	밤나무	3
포도나무	1	단나무	4
느티나무	2	버드나무	4
들메나무	2	평양단풍나무	4
비슬나무	2	평양뽕나무	4
아까시나무	2	스트로브잣나무	6
소나무	2	잣나무	7
메타세쿼이아	2	일본잎갈나무	10

3.2.2 적정 조림 수종 선정

우리나라 NGO 단체의 북한 지원 사업은 종자와 묘목지원 및 조림 사업이 주를 이루고 양묘장 조성 사업도 지원하였다. 양묘장 조성 사업은 2007년에서 2009년 사이에 대부분 실시 되었는데 겨례의숲에서 푸른통일조국가꾸기운동(캐나다)와 함께 나선시 양묘장, 회령시 양묘장 2개소를 조성하였고 우리겨레하나되기운동본부와 평양 삼석구역 양묘장, 하나됨을 위한 늘푸른삼천(경남) 상원군 양묘장, 민족화해협력범국민협의회 평양 순안구역 양묘장, 평양 중화 양묘장, 경기도와 함께 개성시 개풍군 양묘장을 조성하였다. 평화의숲에서는 2003-3004년에 금강산 양묘장을 조성하였다.

양묘장 조성에 따른 묘목 및 종자 지원은 평양 중화 양묘장에 2008년 상수리나무 1,000kg, 잣나무 500kg, 일본잎갈나무 14kg, 물푸레나무 10kg, 2009년 일본잎갈나무 5kg, 리기다소나무 10kg, 잣나무 1200kg, 상수리나무 500kg, 오리나무 10kg을 지원하였으며 평양순안 양묘장에는 2007년 일본잎갈나무 35kg, 잣나무 600kg, 곰솔 8.5kg, 상수리나무 700kg, 2008년 일본잎갈나무 14kg, 잣나무 500kg, 상수리나무 1000kg, 물푸레 10kg, 2009년 일본잎갈나무 5kg, 리기다소나무 10kg, 잣나무 1200kg, 상수리나무 500kg, 오리나무 10kg 외에 아까시나무 묘목을 지원하였으며 2010년에도 잣나무, 오리나무, 아까시나무 종자를 지원하였다. 함북 회령시 양묘장에는 2007년에 일본잎갈나무 100kg을 지원하였다. 상원 양묘장에는 2008년 상수리나무 500kg, 밤나무 500kg, 2009년 일본잎갈나무 20kg, 리기다소나무 10kg, 소나무 10kg, 물푸레나무 50kg을 지원하였다. 개풍 양묘장에는 2008년 일본잎갈나무 20kg, 소나무 7kg, 잣나무 1500kg, 스트로브잣나무 20kg, 밤나무 700kg, 호두나무 750kg, 백합나무 275kg, 2009년 일본잎갈나무 20kg, 소나무 2kg, 스트로브잣나무 20kg, 밤나무 1000kg, 호두나무 1000kg, 은행 200kg 종자를 지원하고, 묘목으로 2008년에 상수리나무 252000본, 자작나무 100000본, 백합나무 100000본, 2009년 잣나무 200000본, 백합나무 50000본, 2010년 묘목 일본잎갈나무, 백합나무 묘목을 지원하였다(<http://www.greenonekorea.or.kr/>). 금강산 양묘장에는 상수리나무 15kg, 아까시나무 5kg, 곰솔 1kg, 느티나무 0.8kg, 물푸레나무 0.5kg, 자작나무 0.3kg 등 총 22.6kg을 지원하고 종자흙떡(짜리나무, 소나무)을 4,000개 지원하였다. 2004년에는 잣나무 종자 400kg, 2006년 소나무 종자 2kg, 스트로브잣나무 2kg, 2009년 잣나무 종자 400kg을 지원하였다(<http://www.peaceforest.or.kr/index.php>).

나무심기 행사는 중화군 양묘장 준공식에 소나무 3년생 1천본, 순안양묘장 준공식에는 주목 1천본을 식재, 사랑의 연탄나눔운동의 나무심기 행사 소나무 1천본 식재, 평화의숲, 유한킴벌리 공동주최 나무심기 행사에서는 잣나무 5천본, 소나무 6천본을 식재하고 신혼부부

나무심기 행사로 금강산 창터솔밭에서 소나무를 심었다.

조림단지 조성 사업은 평화의숲에서 금강산에 밤나무 단지를 2006년에 130ha(4만그루)를 조성하고 2007년에는 금강산 양묘장에서 생산한 묘목으로 고성군 일대 65ha에 총 25만본을 조림(소나무 198,000본, 일본잎갈나무 12,000본 등)하였다. 겨례의숲에서는 2009년 평양 용악산 일대 100ha에 300,000본(잣나무 200,000본, 상수리나무 100,000본)을 조림하였다.

OGK는 양묘장 지원 수종 계획에서 잎갈나무, 소나무, 전나무, 잣나무, 가문비나무, 상수리나무를 선정하였고 생명의숲 양묘장 계획에서 일본잎갈나무, 소나무, 상수리나무, 밤나무가 선정되었다.

산림청 대북용 종자 저장량은 2015년 기준 일본잎갈나무 17.9kg, 잣나무 11998kg, 물푸레나무 4.6kg, 자작나무 1.3kg, 피나무 5.5kg, 들메나무 58kg, 물박달나무 86.9kg, 층층나무 1.3kg, 물오리 88.8kg, 가래나무 4kg, 오리나무 13.5kg, 개잎갈나무 11.5kg,이다(산림청, 2016).

표 29 기관별 별 지원 수종

단체명	수종		
	종자	묘목	조림수종
겨례의숲 (평양 중화, 순안 등)	잣나무, 일본잎갈나무, 곰솔, 리기다 소나무, 상수리나무, 물푸레나무, 오리나무, 아까시나무, 밤나무	아까시나무	주목 잣나무 상수리나무
겨례의숲 (개풍 양묘장)	잣나무, 일본잎갈나무, 소나무, 스트로브잣나무, 밤나무, 호두나무, 백합나무, 은행나무	일본잎갈나무 상수리나무 자작나무 백합나무	-
평화의숲 (금강산 양묘장)	잣나무, 소나무, 스트로브잣나무, 곰솔, 상수리나무, 아까시나무, 느티나무, 물푸레나무, 자작나무, 싸리나무	-	소나무 일본잎갈나무 밤나무
OGKM, 생명의 숲 (계획)	잣나무, 소나무, 잎갈나무, 전나무, 가문비나무, 상수리나무, 밤나무	-	-
산림청 대북용 종자	일본잎갈나무, 잣나무, 물푸레나무, 자작나무, 피나무, 들메나무, 물박달나무, 층층나무, 물오리나무, 가래나무, 오리나무, 개잎갈나무	-	-

대북 지원 수종으로는 잣나무, 일본잎갈나무, 스트로브잣나무, 소나무, 상수리나무, 밤나무, 아까시나무가 주를 이루고 있으며 물푸레나무, 오리나무, 자작나무, 백합나무 등이 그 뒤를 따르고 가래나무, 호두나무, 들메나무, 느티나무, 전나무, 피나무, 물박달나무, 층층나무

등이 일부 고려되고 있다.

북한은 2001년부터 2010년까지 산림조성 10년 계획 기간 동안에 일본잎갈나무, 잣나무, 포플러나무, 아까시나무 등의 조림을 강조하였고(한국과학기술한림원, 2015) 2016년에는 주요 조림 수종으로 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다소나무, 아까시나무, 평양단풍나무, 평양포플러나무 등을 선정하였다(http://www.tongilnews.com/news).

북한의 숲은 침엽수림이 41.9%, 활엽수림 35.6% 그리고 침활혼효림이 22.5%를 차지하고 있으며 주요 수종은 침엽수로는 소나무, 잎갈나무, 잣나무, 활엽수로는 참나무류, 자작나무와 아까시나무가 차지하고 있다.

표 30 북한 주요수종 분포

침엽수(%)		활엽수(%)	
소나무	37.8	참나무류	52.4
잎갈나무	33.8	자작나무	6.3
잣나무	11.9	아까시나무	3.2
삼송림	1.7	라임(피나무류)	6.4
기타	14.8	기타	31.7

(자료 : UNEP, 2004)

북한 침엽수종으로 가장 많이 분포하고 있는 소나무는 북부 고산지대를 제외하고는 모든 곳에서 분포하고 해발 1000m아래에 주로 분포하며 북부 지방에서는 참나무, 잎갈나무와 같이 자란다. 소나무림은 주로 2차림으로 해발 600m아래에서 단순림을 이룬다. 잎갈나무는 해발 1000-1900m 사이에 분포하며 양강도, 함경북도, 함경남도 등의 고산지에 생육한다. 잎갈나무는 대부분 자작나무와 같이 자라고 있으나 해발이 높은 곳에서는 가문비나무, 종비나무와 같이 자란다. 잣나무는 분포 범위가 넓은데 백무고원과 개마공원 일부 지역을 제외한 지역에 생육하는데 해발 1200m까지 분포한다. 활엽수림 중 가장 넓은 면적에 자라는 참나무류는 신갈나무, 떡갈나무, 물참나무, 갈참나무, 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무 등으로 이루어졌는데 이중 신갈나무 분포가 가장 넓고 해발 1400m까지 자란다. 자작나무는 500-2000m, 사시나무는 500-1600m, 사스레나무는 1000-2500m사이에 분포한다(한국과학기술한림원, 2015).

북한 주요 수종의 조림 가능 해발고도와 위도는 표 31과 같은데 해발고도는 침엽수의 경우 소나무 800m이하, 잣나무 100-1200m, 전나무 100-1400m 그리고 활엽수의 경우 참나무류 1200m 이하, 밤나무 100-500m, 사시나무 1500m 이하, 피나무 1700m 이하로 제시되었다(이진규, 이성연, 1992).

표 31 북한의 지대별 조림수종

수종	해발고도(m)	위도(°)
소나무	800이하	43° 이남
잣나무	100~1200	37° 이남
잎갈나무	800~2300	39° 이북
전나무	100~1400	40° 이남
가문비나무	500~2300	39° 이북
분비나무	700~2500	37° 이북
중비나무	800~2500	40° 이남
참나무류	1200이하	39° 이남
피나무	1700이하	전국
밤나무	100~500	40° 이남
황철나무	700~1000	38° 이북
박달나무	800~2000	38° 이북
사시나무	1500이하	39° 이북
음나무	500~1000	41° 이남
황벽나무	200~1200	38° 이북
이태리포플러	500이하	전국
아까시나무	700이하	41° 이남

(자료 : 이진규, 이성연, 1992)

북한 수종을 용재수종, 특수용재, 섬유종이원료, 기름원료, 산열매로 구분하였으며 용재수종에서 자생수종으로는 소나무, 잎갈나무, 곰솔, 참나무류, 자작나무 그리고 외래수종으로는 일본잎갈나무, 리기다소나무, 스트로브소나무, 아까시나무 등이 있는 것이 특징적이고 분비나무, 가문비나무, 전나무 등의 고산성 침엽수가 섬유종이원료, 잣나무, 가래나무가 기름원료로 구분 된 것이 특징적이다(산림청, 2016).

표 32 북한 수종의 용도별 구분

구분	수종
용재수종	일본잎갈나무, 잎갈나무, 소나무, 리기다소나무, 곰솔, 방크스소나무, 스트로브잣나무, 구주소나무, 신갈나무, 상수리나무, 굴참나무, 떡갈나무, 졸참나무, 갈참나무, 자작나무, 아까시나무
특수용재	주목, 피나무, 음나무, 들메나무, 박달나무, 물푸레나무, 황벽나무, 향나무, 은행나무, 다릅나무, 회양목, 느티나무
섬유종이원료	분비나무, 가문비나무, 중비나무, 전나무, 평양포플러, 황철나무, 사시나무, 메타세쿼이아, 물오리나무, 버즘나무
기름원료	잣나무, 호두나무, 쪽가래나무, 가래나무, 산초나무, 쉬나무, 생강나무, 쪽동백나무, 때죽나무, 비목나무 등
산열매	밤나무, 산사나무, 산돌배나무, 살구나무, 뽕나무, 머루나무, 다래나무, 단나무, 비타민나무 등

(자료 : 산림청, 2016)

북한 조림 적정 수종 선정을 위해 조사 결과를 다음과 같이 종합적으로 분석하였다. 북한의 주요 분포 수종은 소나무, 잣나무, 잎갈나무, 가문비나무, 종비나무, 전나무, 신갈나무, 상수리나무, 자작나무, 피나무류, 아까시나무로 나타났고 최근 2001년부터의 주요 조림 수종으로는 일본잎갈나무, 잣나무, 포플러나무, 아까시나무, 리기다소나무 등과 양묘장 현대화를 통한 양묘 수종은 일본잎갈나무, 소나무, 아까시나무, 잣나무, 오리나무류, 가래나무, 분지나무, 오동나무류, 밤나무, 참나무 등이 있다. 최근 북한 메스컴에 자주 나오는 수종은 리기다소나무, 산수유, 밤나무, 버드나무, 평양단풍나무, 평양포플러나무, 스트로브잣나무, 잣나무, 일본잎갈나무이다.

우리나라의 대북 지원 주요 수종은 잣나무, 일본잎갈나무, 스트로브잣나무, 소나무, 상수리나무, 밤나무, 아까시나무 등이고 그 다음으로 물푸레나무, 오리나무, 자작나무, 백합나무 등이 있으며 가래나무, 호두나무, 들메나무, 느티나무, 전나무, 피나무, 물박달나무, 층층나무 등이 일부 지원되었다. 종자 공급을 위해 저장중인 수종은 2015년 기준 일본잎갈나무, 잣나무, 물푸레나무, 자작나무, 피나무, 들메나무, 물박달나무, 층층나무, 물오리나무, 가래나무, 오리나무, 개잎갈나무이다.

북한 수종의 용재수종과 특수 용재에 해당되는 것은 일본잎갈나무, 잎갈나무, 소나무, 리기다소나무, 곰솔, 방크스소나무, 스트로브잣나무, 구주소나무, 신갈나무, 상수리나무, 굴참나무, 떡갈나무, 졸참나무, 갈참나무, 자작나무, 아까시나무, 주목, 피나무, 음나무, 들메나무, 박달나무, 물푸레나무, 황벽나무, 향나무, 은행나무, 다릅나무, 회양목, 느티나무 등이다.

위의 자료를 토대로 산림 수종 위주로 선발된 수종은 주요 자생수종 중에 많이 분포하고 있는 12수종인 소나무, 잣나무, 잎갈나무, 전나무, 분비나무, 가문비나무, 종비나무, 신갈나무, 상수리나무, 자작나무, 아까시나무, 피나무류와 주요 조림수종 5수종 잣나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무, 포플러나무, 대북 주요 지원수종 13수종 잣나무, 일본잎갈나무, 스트로브잣나무, 소나무, 상수리나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 자작나무, 물푸레나무, 들메나무, 호두나무, 대북 지원용 종자 저장중인 7종 일본잎갈나무, 잣나무, 물푸레나무, 자작나무, 피나무, 들메나무, 가래나무, 그리고 용재수종중 위의 수종과 중복되지 않는 수종 2종인 곰솔, 느티나무이다. 이중 중복되는 수종을 제외하면 침엽수는 10수종으로 소나무, 잣나무, 잎갈나무, 전나무, 분비나무, 가문비나무, 종비나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 활엽수는 12수종으로 신갈나무, 상수리나무, 자작나무, 물푸레나무, 들메나무, 피나무, 느티나무, 밤나무, 호두나무, 포플러나무, 아까시나무, 백합나무이다.

표 33 적정 조림수종 리스트

구분	자생수종	도입수종
침엽수 (10수종)	소나무, 잣나무, 잎갈나무, 전나무, 분비나무, 가문비나무, 종비나무	일본잎갈나무, 리기다소나무, 스트로브잣나무
활엽수 (12수종)	신갈나무, 상수리나무, 자작나무, 물푸레나무, 들메나무, 피나무, 느티나무, 밤나무, 호두나무, 포플러	아까시나무, 백합나무

선정된 조림수종 생태적 특성과 분포는 아래 표 34와 같다.

표 34 적정 조림수종의 특성

수종	분포와 특성
소나무	<ul style="list-style-type: none"> · 북부 고원지대를 제외한 해발 1300m 이하에 자생 · 극양수로 양지에 자라 내건성이 높아 척박지에서도 잘 견딤 · 토심이 깊고 배수가 양호한 토양에서 잘 자람
잣나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 400~1200m 사이에 자생 · 음수로 내한성이 강하나 건조 및 조해에 약함 · 한대수종으로 토양이 깊고 비옥한 토양에서 생장이 좋음
잎갈나무	<ul style="list-style-type: none"> · 온대 북부 7000~2300m 사이에 분포 · 양수로 내한성이 강함 · 토양 습도 적습지와 습윤지인 곳의 토양이 비옥한 곳에서 잘 자람(석회암 지대)
전나무	<ul style="list-style-type: none"> · 온대 북부 해발 400~1200m 사이에 자생 · 음수로 내한성이 강하나 건조 및 조해에 약함 · 토양 습도와 공중 습도가 높고 토심 깊고(90cm) 배수가 양호한 토양에서 잘 자람
분비나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 700m~1800m 사이에 자생 · 어릴 때는 음수로 내한성이 강하나 자람에 따라 빛을 많이 요구함 · 공중 습도가 높고 토심이 깊고 부식질이 풍부한 토양에서 잘 자라고 대기 습도가 낮으면 성장불량
가문비나무	<ul style="list-style-type: none"> · 온대 북부 해발 500~2300m 사이에 자생 · 어린 나무 때에는 내음성이 강함 · 공중 습도가 높고 토심이 깊고 비옥한 토양(부식질층 10cm)에서 잘 자람

수종	분포와 특성
중비나무	<ul style="list-style-type: none"> · 온대북부 해발 800~2000m 사이에 자생 · 가문비나무 분포 지역과 유사함 · 토심이 깊고 비옥한 토양에서 잘 자람
곰솔	<ul style="list-style-type: none"> · 내륙지역 해발 200m 이하에 분포, 바닷가와 해풍의 영향이 끼치는 곳에 자생 · 생장이 우수하고 균집성이 높으나 내한성이 약함 · 토심 50cm이상의 사질 양토에서 잘 자람
일본잎갈나무	<ul style="list-style-type: none"> · 원산지 일본 · 해발 1200m 이하의 해변을 제외한 지역 · 극양수로 내음성이 약하고 공해에도 약함 · 토심 70cm 이상의 깊고 배수가 양호한 토양에서 잘 자람
리기다소나무	<ul style="list-style-type: none"> · 북미 원산으로 대서양 연안에 자생, 해발 300m 이하 지역 · 내건성이 강하고 척박한 토양에서도 잘 자람 · 병해충이 적으므로 건조하고 척박한 산지에 적합함
스트로브잣나무	<ul style="list-style-type: none"> · 원산지 북미 동부지역, 해발 500m 이하 중부 이남 지역 · 공해에 강한편이고 내한성이 있음 · 토심이 깊은 사질양토에 잘 자람
신갈나무	<ul style="list-style-type: none"> · 우리나라 전지역 500~1300m 분포 · 건생식생으로 건조지에서도 번성하며 맹아력이 강함 · 토심 60cm 이상의 배수가 양호한 토양에서 잘 자람
상수리나무	<ul style="list-style-type: none"> · 우리나라 800m 이하에 자생하나 300m 이하에서 잘 자람 · 내건성, 내한성, 내조성이 강하여 해안에서 잘 견디나 내음성은 약함 · 토심 70cm 이상의 양토에서 잘 자람
자작나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 500~1300m에서 분포 · 한대수종으로 추위에 강하고, 산복 이하 양지에서 균집을 형성 · 토심 60cm 이상의 양토에서 잘 자람
물푸레나무	<ul style="list-style-type: none"> · 우리나라 해발 100~1600m 사이에 자생 · 어려서는 내음성이 있으나 자라면서 양광성, 내한성도 강함 · 비옥하고 습기 있는 사질양토에서 잘 자람
들메나무	<ul style="list-style-type: none"> · 온대북부 200~1000m가 적지임 · 어려서는 내음성이 있으나 크면서 양광이 필요하고 맹아력이 낮음 · 토심이 깊고 수분이 많은 양토에서 잘 자람

수종	분포와 특성
피나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 100~1400m 분포, 600m 이상이 적지임 · 내한성, 내조성, 내음성이 강함 · 내건성은 있으나 토양이 깊고 비옥한 곳에서 잘 자람
느티나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 300m 이하가 적지임 · 생장이 빠르고 이식이 잘 되며 중성 토양을 좋아함 · 토양이 깊고 토양 수분이 많은 환경사지의 양토에서 잘 자람
밤나무	<ul style="list-style-type: none"> · 북부 지역 해발 600m 이하 자생 · 양수로 수광량이 충분할 때 결실이 양호함 · 환경사지 토심이 60cm이상의 배수가 양호한 적운 토양에서 잘 자람
호두나무	<ul style="list-style-type: none"> · 해발 400m 이하가 적지임 · 북서향의 늦서리 피해가 없는 곳 · 환경사지의 토심이 1m이상 비옥한 산록부에서 잘 자람
포플러	<ul style="list-style-type: none"> · 원산지 캐나다 · 해발 300m 이하가 적지임 · 내한성이 강하나 해변에서는 조해가 심함 · 하천변이나 산록계곡부 평탄지, 토심이 깊고 수분이 많은 양토에서 잘 자람
아까시나무	<ul style="list-style-type: none"> · 원산지 북미 · 우리나라 해발 400m 이하가 적지임 · 내한성이 강하고 어느 곳에서나 자람 · 토심 50cm 치상의 배수가 잘되는 양토에서 잘 자람
백합나무	<ul style="list-style-type: none"> · 원산지 북미 · 우리나라 중부지역 해발 400m 이하가 적지임 · 양지에서 잘 자라나 건조에 약하며 생장은 빠름 · 토심 70cm이상의 토양 수분이 많고 배수가 양호한 양토, 식양토에서 잘 자람

(자료 : 국립산림과학원¹⁾, 2007, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011)

3.2.3 적지 선정 지표

조림수종의 적지 선정을 위해서 수목의 생장에 영향을 끼치는 다양한 인자를 검토하고 인자들의 자료 취득 가능 여부를 확인하였다. 이런 인자는 기후인자, 지형인자, 토양인자로 구분할 수 있는데 기후 인자는 기후대, 연평균 기온, 최저기온, 최고기온, 연평균 강수량, 최고 강수량, 최저 강수량, 서리일수 등 다양하게 있다. 지형인자는 해발고도, 사면 내 위치, 경사, 경사의 형태, 방위 등이 해당한다. 그리고 토양인자는 모암, 토성, 토심, 토양 배수, 토양 습도, 토양 견밀도, 유기물, 토양구조, 토색, 풍노출도, 암석노출도, 침식상태 등이 있다(국립산림과학원, 2008).

북한 현지조사가 불가능 하므로 현지 외에서 취득할 수 있는 인자를 2세부과제 연구결과에서 수집을 하였다. 다양한 기후인자 중에서 식생의 분포와 밀접한 관련이 있는 기온과 강수량이 고려된 쾨펜 기후 구분이 적지 선정에 적합한 것으로 검토되었다. 지형인자 중 경사 형태는 위성영상에서 구분을 하기가 어렵고 해발고도, 사면 내 위치, 경사, 방위는 취득이 가능한 것으로 판단되었다. 토양인자 중 토양 구조, 토색, 풍노출도, 암석노출도 및 침식 상태는 현장 조사에서 취득이 가능한 것으로 판단이 되었고 모암, 토성, 토심, 토양 배수, 토양 습도, 토양 견밀도, 유기물은 위성영상에서 취득 가능 여부를 판단하였다. 2세부과제에서 취득 할 수 있는 토양 인자는 모암, 견밀도, 토심, 토성, 유기물, 습도의 6개 항목으로 토양 배수는 제외되었다.

다양한 인자를 검토한 결과 기후대, 해발고도, 사면 내 위치, 경사, 방위, 모암, 견밀도, 토심, 토성, 유기물, 습도를 적지 선정 지표로 선정을 하였다.

국내 적지적수 조립을 위한 산림토양 인자별 점수표에 의한 능력 급수 구분에서는 인자별 점수를 산정하고 등급을 부여한 후 등급별, 기후대별 적정 조림수종을 제시하였다. 인자는 토심, 지형, 견습도, 퇴적 양식, 침식, 견밀도, 토성 8개 인자로 점수표는 인자별로 점수가 다양하게 부여되어 토심은 1~12점, 토성은 1~6점, 나머지 인자는 그 중간 점수대에 있다. 1급지 55점 이상, 2급지 45~55점, 3급지 35~44점, 4급지 25~34, 5급지 8~24점이다(국립산림과학원, 2009).

표 35 인자별 점수표

인자	구분					
	⑫	⑥	⑤	①		
토심	90cm이상	90~60cm	60~30cm	30cm미만		
지형	⑪ 평탄지	⑧ 산록	⑥ 완구릉지	④ 산복	① 산정	
건습도	⑪ 적운	⑧ 습윤	⑥ 건조	③ 과습	① 과건	
경사도	⑨ 5도미만	⑧ 5~15도	⑦ 15~20도	⑤ 20~30도	③ 30~45도	① 45도 이상
퇴적양식	⑨ 봉적토	⑤ 포행토	① 잔적토			
침식	⑧ 없다	⑥ 있다	③ 심하다	① 매우 심하다		
건밀도	⑧ 송	⑦ 연	④ 건	① 강건		
토성	⑥ 사토 (미숙토)	④ 식양토	③ 사양토 (미숙)	② 사토	① 미숙토	

(자료 : 산림자원조사연구소, 1976)

본 연구에서는 인자별 가중치를 산정하지 않고 인자별 1-5점으로 구분하고 1점을 받은 수종은 적지에서 제외시켰다. 기후대는 온대 남부, 중부, 북부, 한대로 구분을 하였고 고도는 수종에 따라 5개로 구분하였다. 기후대, 방위, 토심, 유기물처럼 3-4개 구분이 되는 경우에는 5점 등급 내에서 4개로 적정하게 분산 처리 하였다. 1급지는 50-55점, 2급지는 45-50점, 3급지는 40-45점, 4급지는 35-40점, 5급지는 30-35점으로 등급을 설정하였다.

표 36 북한 적수선정 적지인자별 점수표

점수	기후대	고도	방위	경사	지형	모암	토성	토심	습도	유기물	건밀도
1	온대남부 온대중부 온대북부 한대	0-2000 이나 500~1 000 등 다양함	동 서 남 북	0~25 이상	산정 산복 산록 계곡	석회암	S, LS	0~90 이상	습 약습 적운 약건 건조	약간있다 있다 많다 아주많다	강건 건 연 송 심송
2						화산암	SL,				
3						화산쇄설물	SCL				
4						심성암	SiL,				
5						변성암 퇴적암	SiCL L, CL				

3.2.4 수종별 조림 적지 기준 및 도면

조림대상수종 23수종(소나무, 잎갈나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 자작나무, 상수리나무, 가문비나무, 곰솔, 리기다소나무, 분비나무, 스트로브잣나무, 전나무, 종비나무, 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 피나무, 호두나무)의 조림 적지 기준은 수종별로 11개 인자(기후대, 지형, 고도, 방위, 경사, 모암, 토성, 토심, 습도, 유기물, 견밀도)의 기준 점수를 설정하여 점수를 산정하였다. 북한에서 점유율이 높은 주요 수종인 소나무, 잣나무, 잎갈나무, 신갈나무, 상수리나무, 자작나무 그리고 기타 침엽수와 활엽수순으로 기준과 도면을 제시하였다.

본 연구에서 기준이 되는 점수화의 기준에 대한 상세한 정보는 표 형태로 삽입하여 정확한 정보를 확인할 수 있도록 구성하였고 인자들의 점수 총합이 되는 결과는 도면으로 제안하였다. 조림 가능지 결과는 북한을 대상으로 한 수종별 점수 분포를 나타낸 것으로 1급지에서 5급지의 모든 분포를 표현하고 있다. 북한 전역을 대상으로 하는 공간 단위의 지도는 지니고 있는 정보의 양이 많을수록 복잡한 형태를 띠게 되고, 연구 목적에 맞는 일부 결과의 패턴을 그대로 반영하지 않는 경우가 발생하는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서의 결과는 모든 정보를 포함하고 있는 조림 가능지와, 수종별로 조림에 적합할 것으로 여겨지는 1급지와 2급지 정보만을 포함한 조림 지도를 함께 제시하였다. 1급지와 2급지만을 포함한 결과는 수종별 조림에 가장 적합한 지역을 의미한다. 두 가지 결과를 토대로 수종별 적정 조림 지역, 도별 적정 조림 수종 결과를 판별하는데 적용하였다. 수종별 적정 조림 지역은 ○, △, ×의 3 등급에 따라 평가되는데, ○는 조림에 적합한 지역, ×는 부적합한 지역을 의미한다. △ 등급은 서로 다른 두 가지 기준에 따라 분류되었다. 첫 번째로, 조림 가능지 결과가 조림에 부적합한 것으로 나타난 경우, 두 번째로, 조림 가능지 결과와 조림 최적지 결과의 차이가 매우 큰 경우이다. 후자의 경우 낮은 급지의 분포가 대부분의 조림 가능지를 보유하고 있기 때문에 상대적으로 조림 우선순위에서 뒤떨어지는 것으로 판단하였다. 도별 적정 조림 수종 결과는 이 결과를 바탕으로 북한의 행정구역에 맞추어 조림 수종을 제안하였다.

1) 주요 수종

○ 소나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	견딜도
1	한대	700-					SiL SiCL				
2		600-700	북	25-		석회암 화산암 화산쇄설물	S	0-30	약습 습	약간있다	심송 강견
3	남부	0-200	동	20-25	산정	퇴적암	CL SCL		건조	있다	견
4	중부	400-600	서	0-15	산복	심성암	L LS	30-60	적윤	많다	연
5	북부	200-400	남	15-20	산록	변성암	SL	60-	약건	아주많다	송

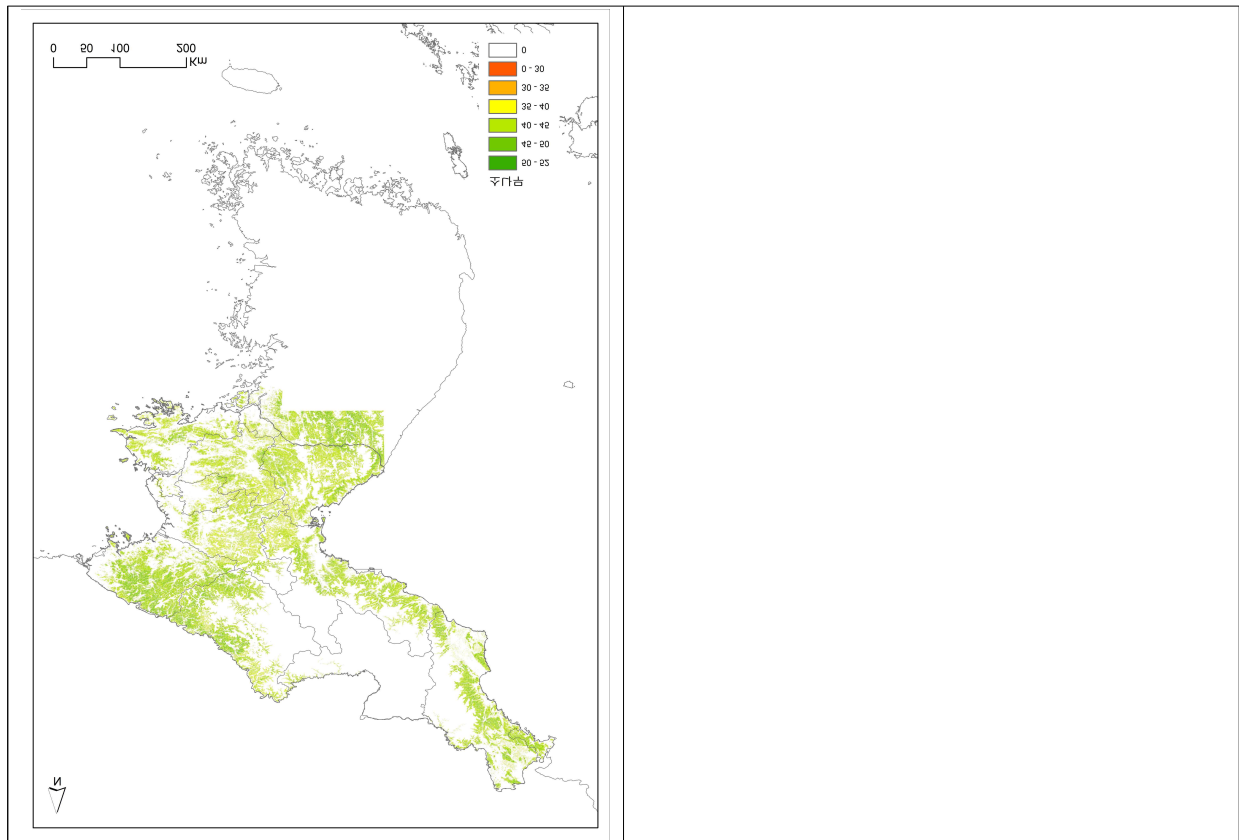


그림 40 소나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

소나무의 조림 가능지는 백두산과 개마고원 일대를 제외한 북한 전역에서 넓게 나타나고 있다. 북한의 북동쪽 지역에는 백두산과 개마고원의 높은 고지대가 분포하는데, 이 지역에서는 고도가 낮은 지역이나 해안 지역에서 조림 가능 지역이 나타나고 있다. 조림 최적지를 중심으로 보면 자강도와 평안북도의 저지대에서 최적지가 넓은 면적으로 분포한다. 이 지역은 중산간지역과 해발이 낮은 저지대로 구분이 된다.

○ 앞갈나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	전밀도
1	남부	0-500					S				
2		2000-	북	25-	산정	석회암 화산암 화산쇄설물	LS	0-30	습 건조	약간있다	견 강견
3	중부	500-1000	동	15-20	산복	심성암	SL SiL	30-60	약습	있다	연
4	한대	1500-2000	서	20-25		변성암	SiCL L		약건	많다	송
5	북부	1000-1500	남	0-15	산록	퇴적암	CL SCL	60-	적윤	아주많다	심송

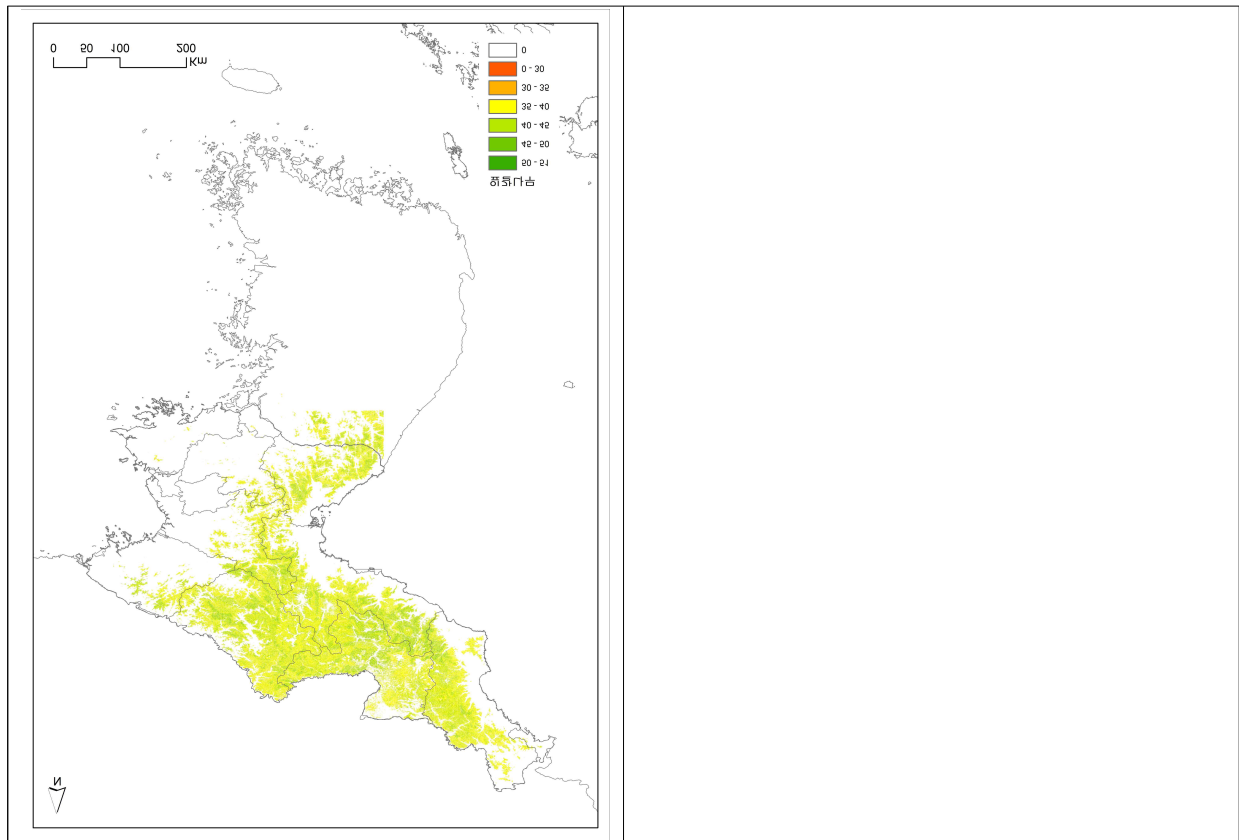


그림 41 앞갈나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

앞갈나무의 조림 가능지는 상대적으로 높은 고도에서 나타나고, 대한민국과 인접한 북한의 남쪽에서는 백두대간으로 연결되는 높은 지대에서 조림이 가능한 것으로 분석되었다. 전반적으로 중산간지역 이상에서 주로 조림이 가능하며 자강도, 양강도 등 산악 지역에 많이 분포한다. 조림 최적지의 경우 상대적으로 좁은 면적에서 1급지와 2급지가 나타나고 있어 조림 계획을 수립할 때 서로 다른 수종으로 구성된 조림지 사이에 점이대 역할을 담당할 수 있도록 앞갈나무 조림지를 배치할 필요가 있다. 또한 이러한 좁은 면적에서 조림 최적지가 나타나는 경우에는 지역 특성과 생장에 관한 내용을 고려하여야 한다.

○ 잣나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	남부	0-400					S	0-30	건조		
2		1400-	남	30-	산정		L LS		습	약간있다	견강견
3	중부	1100-1400	동	25-30		석회암 화산암 화산쇄설물	SL SiCL	30-60	약건		연
4	한대	500-800	서	20-25	산복	변성암 심성암	SiL SCL		약습	있다	송
5	북부	800-1100	북	0-15 15-20	산록	퇴적암	CL	60-	적윤	많다 아주많다	심송

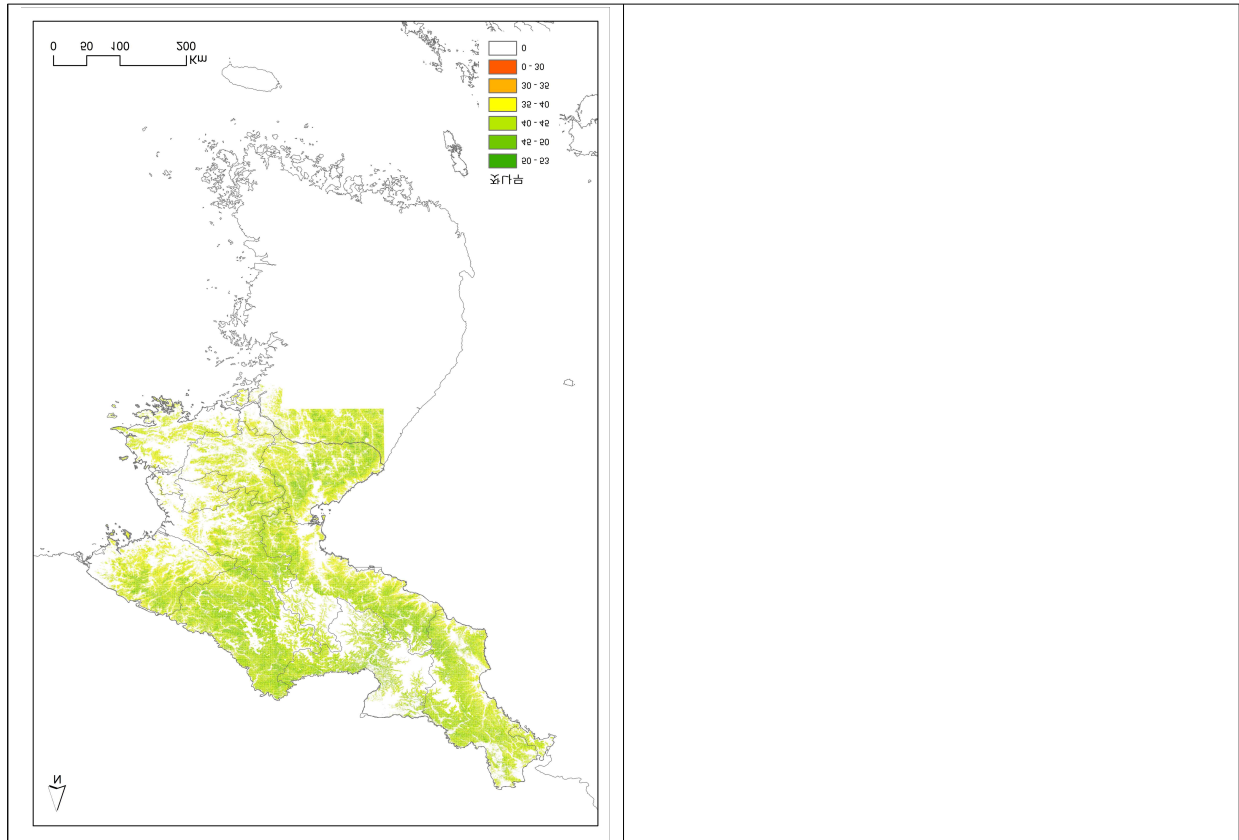


그림 42 잣나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

잣나무의 조림 가능지는 북한 전역에 걸친 넓은 지역에서 가능한 것으로 나타났다. 백두산과 개마고원의 일부 지역과 평안남도, 평양시, 남포시 등의 남서쪽 지역에서는 조림에 적합하지 않은 패턴이 보인다. 조림 최적지의 경우 조림 가능지의 경향을 그대로 보이고, 중산간지역 이상에 많이 분포하고 있으며, 북한의 북쪽에서는 자강도와 함경남도, 함경북도에 넓은 조림 최적지가 나타나고 남쪽에서는 백두대간을 따라 조림 최적지가 분포한다.

○ 일본잎갈나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1		0-200 1000-									
2	남부	800-1000	북	25-	산경	석회암 화산암 화산쇄설물	S SiCL	0-30	습 건조	약간있다	견 강견
3	한대	600-800	동	20-25		심성암	SL SiL	30-60		있다	연
4	중부	200-400	서	15-20	산복	변성암	L SCL		약건		송
5	북부	400-600	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	CL LS	60-	적운 약습	많다 아주많다	심송

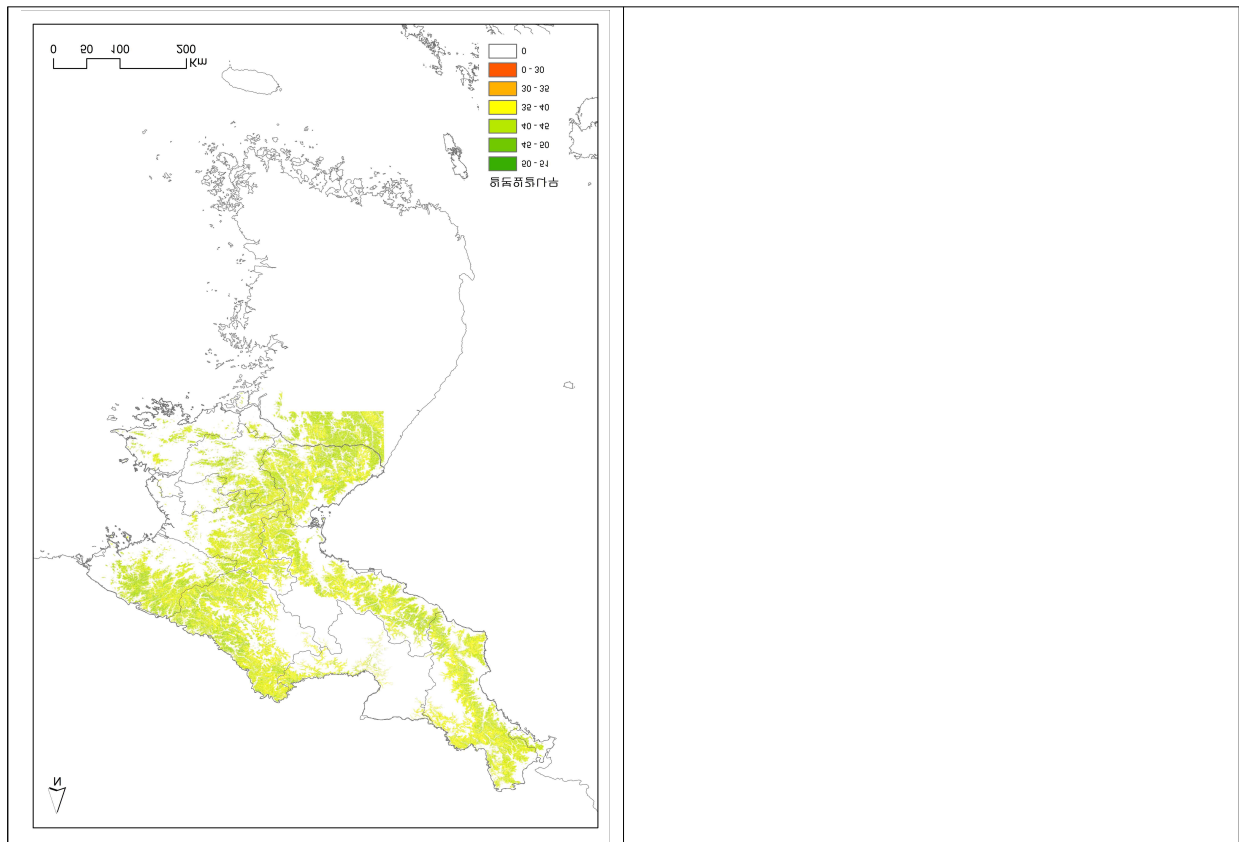


그림 43 일본잎갈나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

일본잎갈나무의 조림 가능지는 백두산과 개마고원 일대, 서쪽의 낮은 저지대를 제외한 전역에서 나타나고 있다. 반면, 1급지와 2급지의 조림 최적지는 상대적으로 좁은 면적에서 파편화 되어 나타나고 있다. 특히 저지대와 해안 지역에서는 조림이 부적절한 것으로 나타났다. 도입수종인 일본잎갈나무의 조림 계획 수립시에는 수종의 생태적 특성과 원산지 분포 특성의 고려가 필요할 것으로 판단된다.

○ 신갈나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	전밀도
1	남부	1400-									
2	한대	0-400	북	25-	산정		LS SiL S	0-30	습 건조	아주많다	심층 강건
3		1200-1400	동	20-25		석회암 화산암 화산쇄설물	SL SiCL	30-60	약습	약간있다	건
4	중부	400-800	남	15-20	산복	심성암	CL SCL		적윤	있다	연
5	북부	800-1200	서	0-15	산록	퇴적암 변성암	L	60-	약건	많다	송

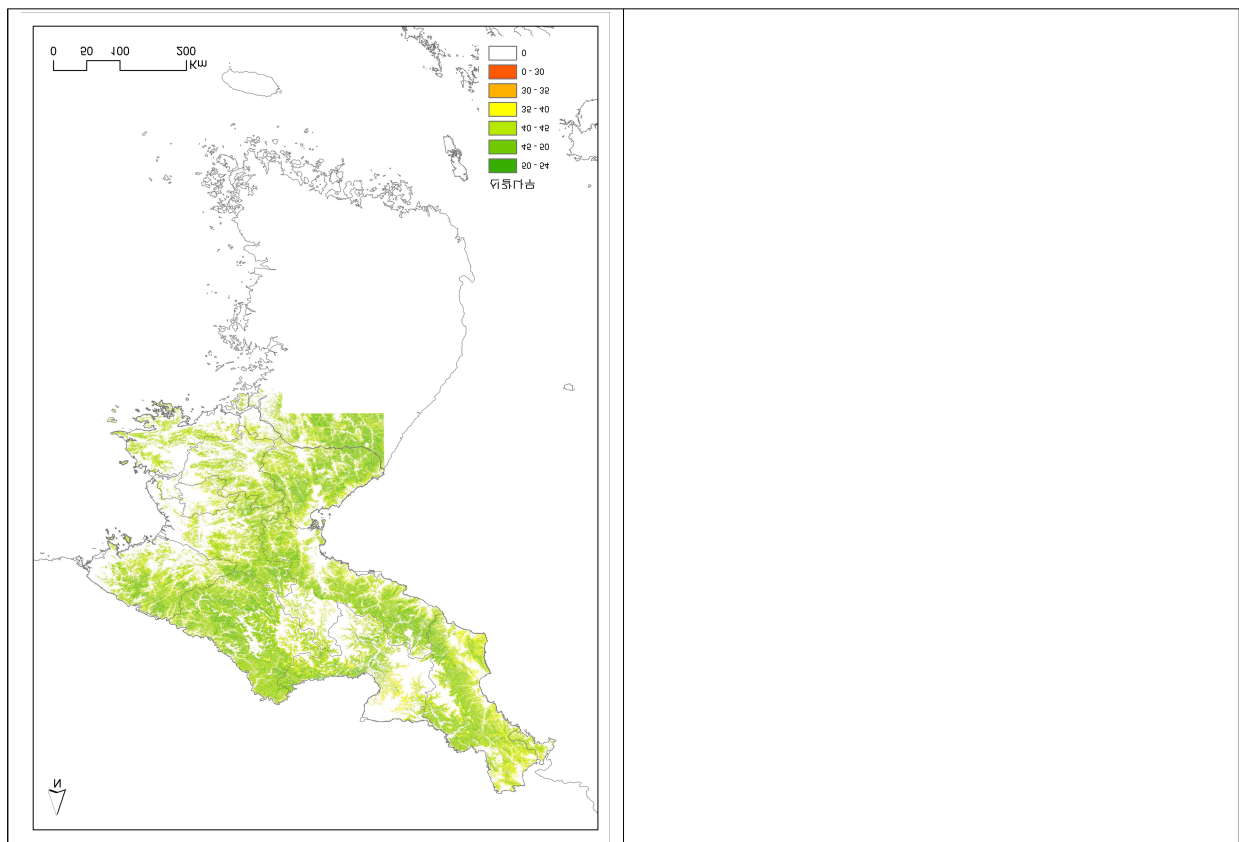


그림 44 신갈나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

신갈나무의 조림 가능지는 백두산과 개마고원의 일부 고지대를 제외한 북한 전역에 분포하고 있다. 조림 최적지의 경우에도 넓은 면적에서 나타나고 해안지역, 평야 저지대 대부분과 고산지역 일부를 제외한 많은 지역이 적지로 나타났다. 신갈나무의 경우 주된 제한 요인 가운데 고도에 의한 제한이 높은 고도에 대한 기준만 적용되었음에도 불구하고 매우 넓은 면적에서 조림이 가능한 것으로 분석되었다.

○ 자작나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	남부	0-600									
2		1800-	북	0-15 30-	산정	석회암 화산암 화산쇄설물	SiL SiCL	0-30	습 건조	약간있다	견 강건
3	중부	1400-1800	동	25-30		퇴적암	S LS	30-60	약습	있다	연
4	한대	600-1000	서	15-20	산복	심성암	L CL		약건	많다	송
5	북부	1000-1400	남	20-25	산록	변성암	SL SCL	60-	적윤	아주많다	심송

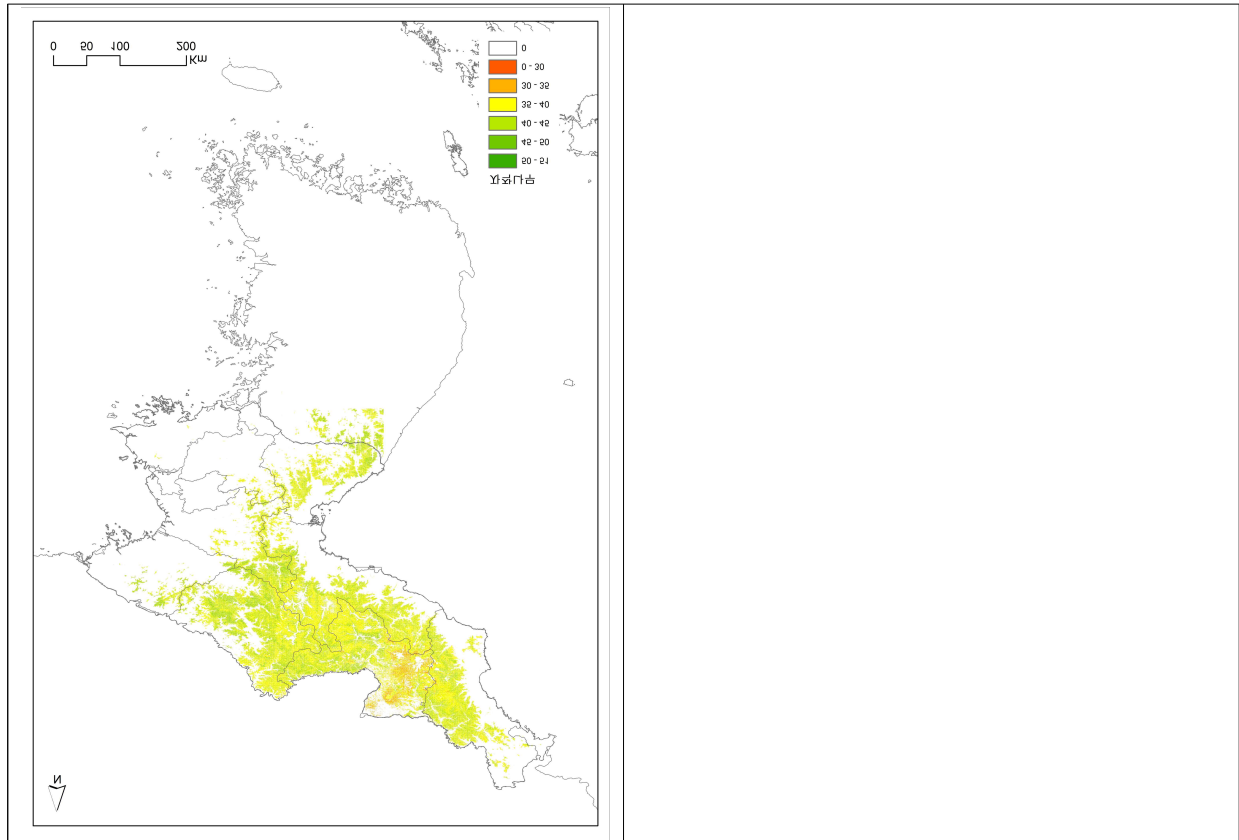


그림 45 자작나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

자작나무의 조림 가능지는 백두대간을 따라 고도가 높은 산지에서 나타났고, 특히 해양의 영향을 크게 받는 해안 지역과 중산간이하의 저지대에서는 생육 조건이 힘든 것으로 분석되었다. 조림 최적지의 경우 좁은 면적에서 파편화 되어 있고 고산대에만 분포하는 특성을 지니고 있어 조림 계획 수립시 상세한 분석이 추가로 진행될 필요가 있다.

○ 상수리나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	견밀도
1	한대 북부	600-									
2		400-600	북	25-	산경		S SiL SiCL	0-30	습 건조	약간있다	견 강견
3			동	20-25	산복	석회암 화산암 화산쇄설물	LS	30-60		있다	연
4	남부	0-200	서	15-20		심성암	CL SCL		약건		송
5	중부	200-400	남	0-15	산록 계곡	퇴적암 변성암	SL L	60-	적윤 약습	많다 아주많다	심송

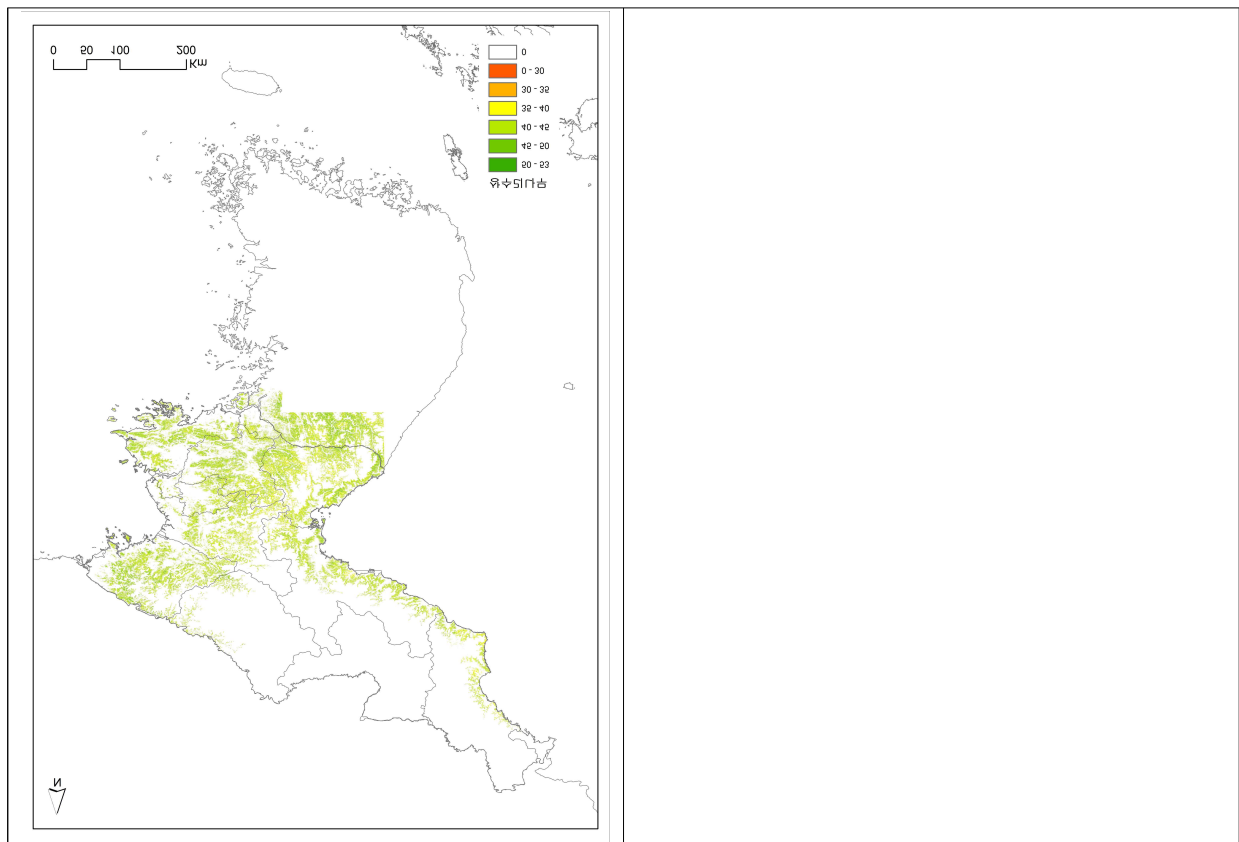


그림 46 상수리나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

상수리나무의 조림 가능지는 북한의 중부 이남에 분포하고 있다. 강원도의 백두대간 지역과 자강도, 양강도 등의 중산간 이상의 고산지역에서는 분포가 어려운 것으로 나타나고 함경북도와 함경남도에서는 해안에 인접한 고도가 낮은 지역에서 분포가 가능한 것으로 분석된다. 조림 최적지는 상대적으로 좁은 면적에서 나타난다. 또한 강원도의 동해안에 인접한 지역과 황해도, 평안도에서 조림 최적지가 인접하여 분포하는 특징을 보이고 있다.

2) 기타 침엽수

○ 가문비나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	견밀도
1	남부	0-400 2200-					S				
2		400-800 2000-2200	남	25-	산경	석회암 화산암 화산쇄설물	LS SL	0-30	건	약간있다	
3	중부	1600-2000	동	0-15		심성암	SCL CL	30-60	습	있다	견강견
4		800-1200	서	15-20	산복	변성암	SiCL		약건	많다	충연
5	북부 한대	1200-1600	북	20-25	산록, 계곡	퇴적암	L SIL	60-	적운 약습	아주많다	심송

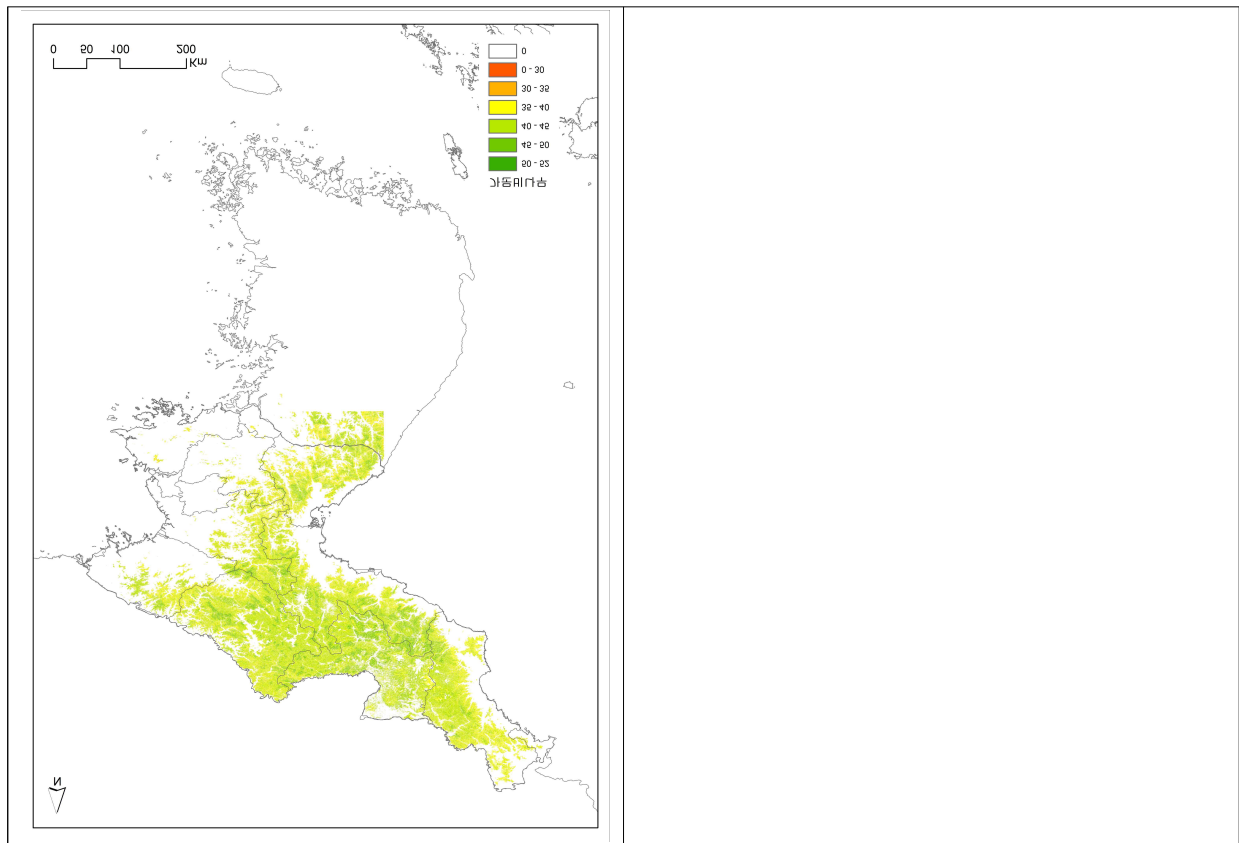


그림 47 가문비나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

가문비나무 조림 가능지는 백두산과 개마고원에서 이어지는 백두대간 산줄기를 따라 분포하고 있다. 비슷한 패턴을 보이는 자작나무에 비해 더 넓은 면적에서 조림이 가능한 지역이 나타나고 있고, 함경북도의 일부 지역에서는 저지대에서도 조림이 가능한 것으로 분석되었다. 조림 최적지는 조림 가능지 가운데 상대적으로 높은 고도에서 나타나고 있고, 개마고원 일대에서 연속적인 분포를 보이는 특성을 지니고 있다.

○ 곰솔

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대 북부	200-		25-							
2			남	20-25	산경	석회암 화산암 화산쇄설물	SiL	0-30	습 건	약간있다	견 강건
3			동	15-20	계곡	심성암	LS S SCL		약습	있다	연
4	중부		서		산복	변성암	CL L	30-60	약건	많다	송
5	남부	0-200	북	0-15	산록	퇴적암	SL SiCL	60-	적윤 약건	아주많다	심송

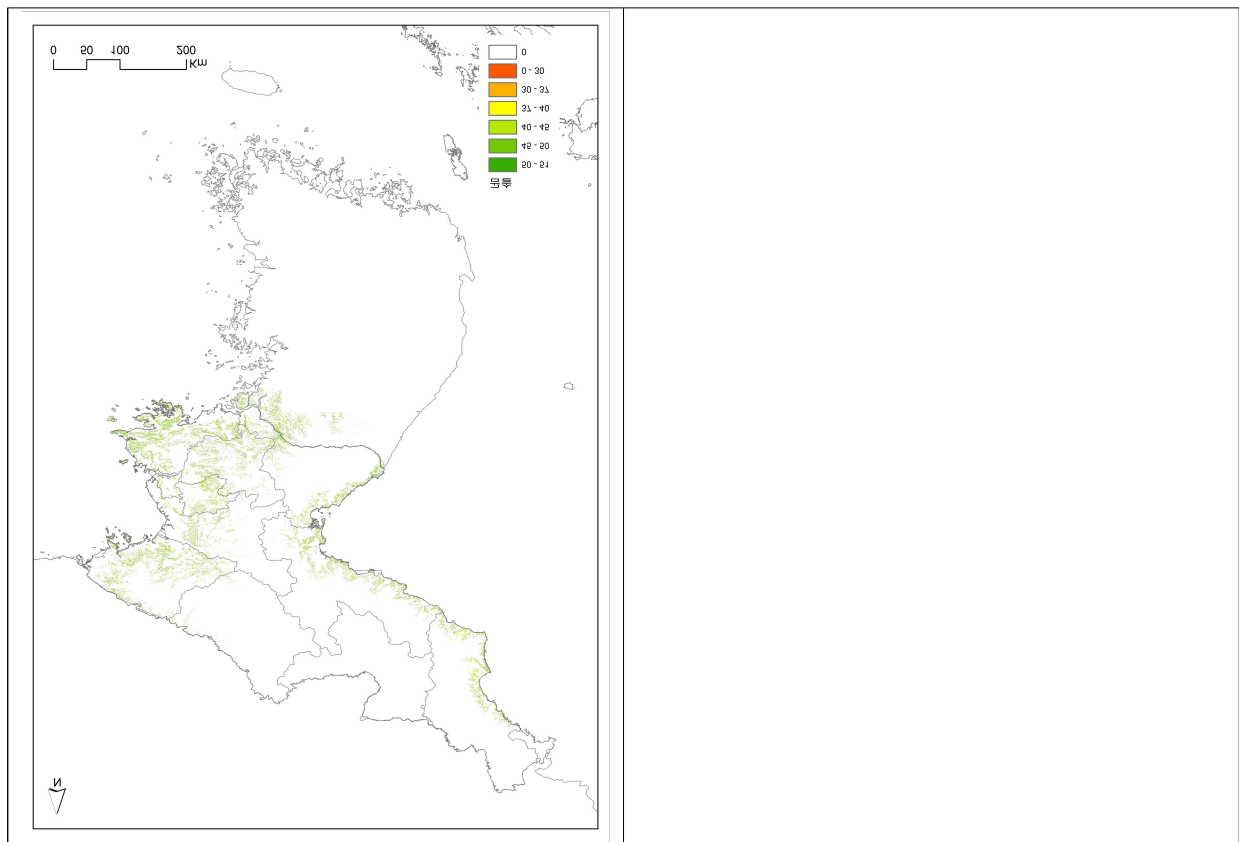


그림 48 곰솔 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

곰솔의 조림 가능지는 해안에 인접한 지역을 따라 분포한다. 서해안에 면한 저지대에서는 내륙성 환경이 나타나는 황해북도까지 분포 범위가 넓게 나타나고 있다. 조림 최적지는 조림 가능지와 유사한 패턴을 보이고, 분포 범위가 다소 감소하였으나 조림 가능지 가운데 높은 비율을 차지하고 있다.

○ 리기다소나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대 북부	0-10 400-					SiL SiCL				
2			북	25-	계곡	석회암 화산암 화산쇄설물	CL			아주많다	
3		200-400	동	15-20	산록		L	0-30	습	많다	견강건
4	남부	10-100	서	20-25	산정	변성암 심성암	S SCL	30-60	적윤 약습	약간있다	중연
5	중부	100-200	남	0-15	산복	퇴적암	SL LS	60-	약건 건	있다	심송

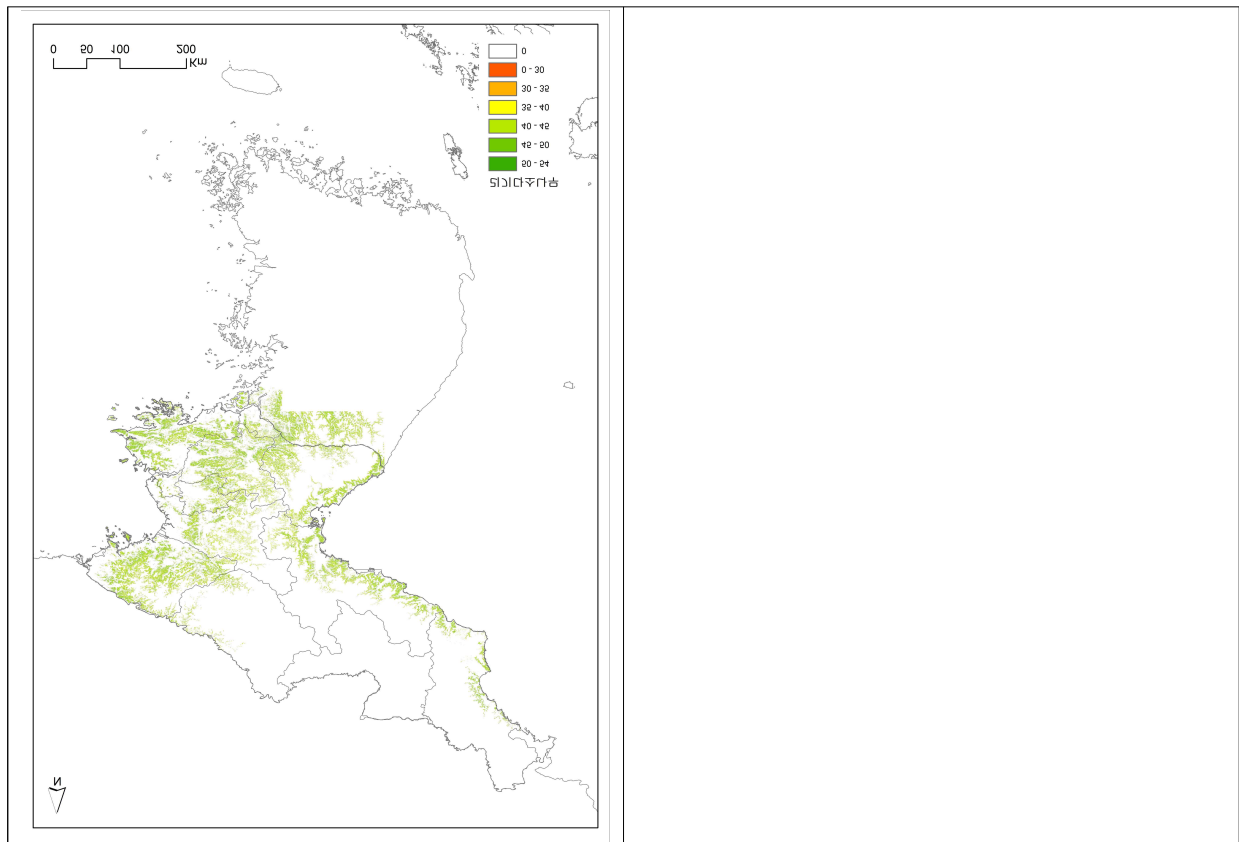


그림 49 리기다소나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

리기다소나무의 조림 가능지는 고도가 낮은 지역을 중심으로 분포한다. 곰솔에 비해 더 넓은 면적에서 조림이 가능한 것으로 분석되며 해안에서 멀어질수록 곰솔, 리기다소나무의 순으로 조림이 가능할 것으로 판단된다. 조림 최적지는 조림 가능지 가운데 높은 비율을 차지하고 있고 조림 가능지와 마찬가지로 곰솔보다 조금 더 높은 고도에 분포하고 있으나 지역 특성과 생장을 고려하여 식재를 하는 방안이 필요하다.

○ 분비나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	남부	0-400 1800-					S				
2		400-800 1400-1800	남	25-	산정		LS SL	0-30	건	약간있다	
3	중부	1200-1400	동	0-15		석회암 화산암 화산쇄설물	SCL CL	30-60	습	있다	견 강건
4		800-1000	서	15-20	산복	변성암 심성암	SiCL		약건	많다	송 연
5	한대 북부	1000-1200	북	20-25	산록 계곡	퇴적암	L SiL	60-	적운 약습	아주많다	심송

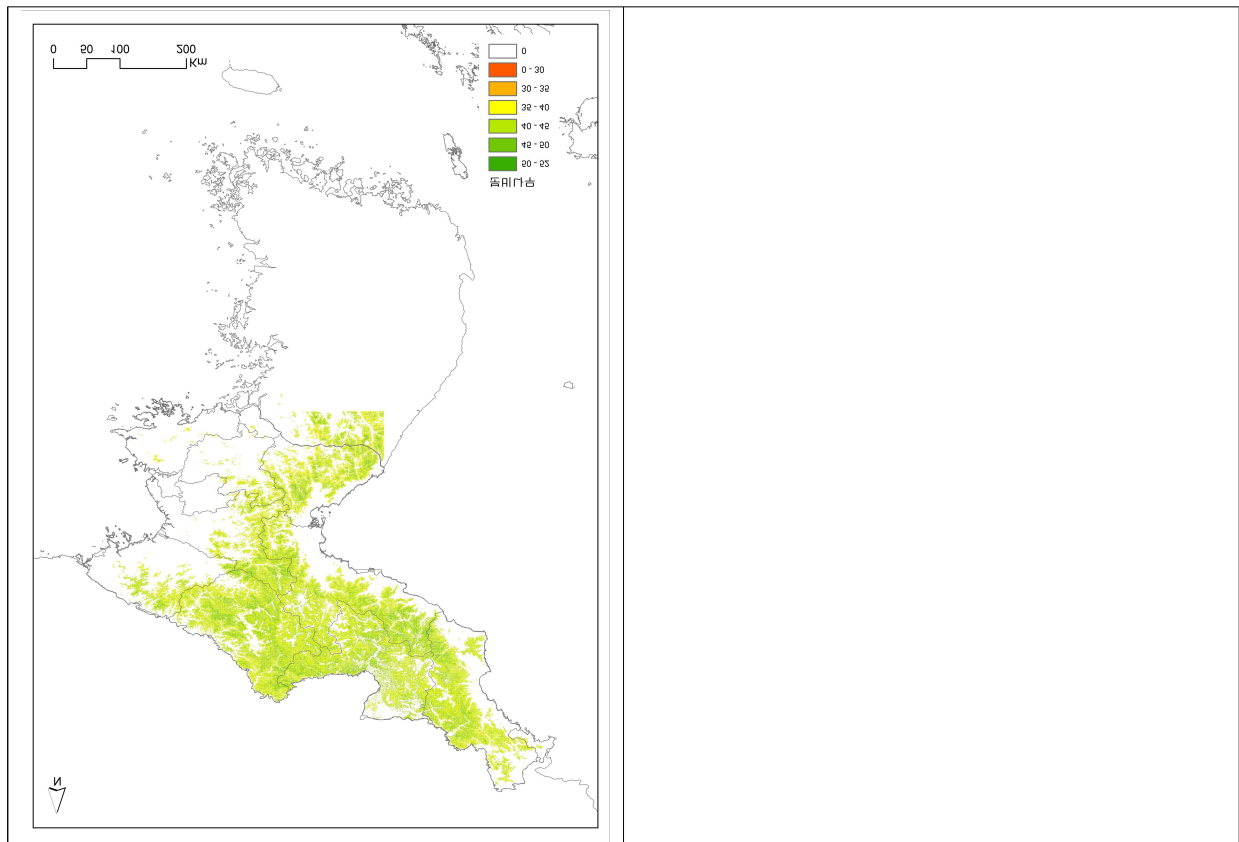


그림 50 분비나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

분비나무의 조림 가능지는 북한의 산간 지역을 중심으로 넓게 분포하고 있다. 북쪽에서 남쪽으로 내려올수록 분포가 가능한 지역이 좁아지는 경향이 있고 백두대간을 중심으로 위치한다. 조림 최적지의 경우 조림 가능지가 넓은 것에 반하여 상대적으로 좁은 면적에서 나타나고 백두산과 개마고원 일대에서는 최적지의 범위가 좁은 특성을 보이고 있다.

○ 스트로브잣나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	800-					SiL SiCL				
2		0-200	북	25-	산경	석회암 화산암 화산쇄설물	L	0-30	건조	약간있다	견장견
3	남부	600-800	동	15-20	산복	심성암	CL SCL	30-60	약건	있다	연
4	북부	200-400	서	20-25		변성암	SL LS		습 약습	많다	송
5	중부	400-600	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	S	60-	적윤	아주많다	심송

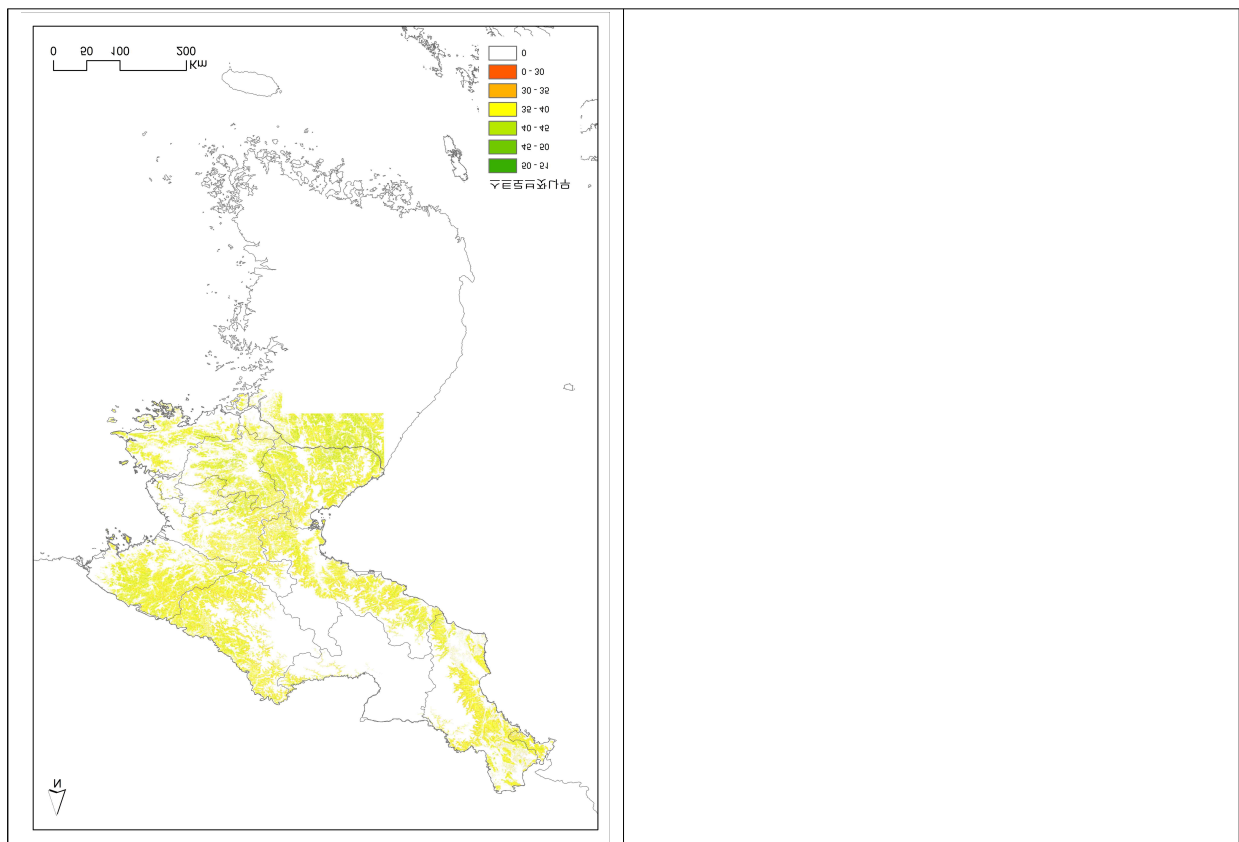


그림 51 스트로브잣나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

스트로브잣나무의 조림 가능지는 북쪽에서는 고산지인 백두산과 개마고원을 제외한 지역, 남쪽에서는 해안 및 저지대를 제외한 지역에서 나타난다. 조림 적지의 총합이 전반적으로 낮아 다른 수종에 비하여 조림에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 조림 최적지의 경우 극히 일부의 지역에서 2급지가 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 스트로브잣나무는 도입수종으로 조림지 선택시에 특히 원산지 입지환경과 성장특성에 대한 고려가 필요하다.

○ 전나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	남부	0-100 1400-					S				
2		100-400 1000-1400	남	25-	산정		LS SL	0-30	건	약간있다	
3		800-1000	동	0-15		석회암 화산암 화산쇄설물	SCL CL	30-60	습	있다	견 강건
4	한대 북부	400-600	서	15-20	산복	변성암 심성암	SiCL		약건	많다	송 연
5	중부	600-800	북	20-25	산록 계곡	퇴적암	L SiL	60-	적운 약습	아주많다	심송

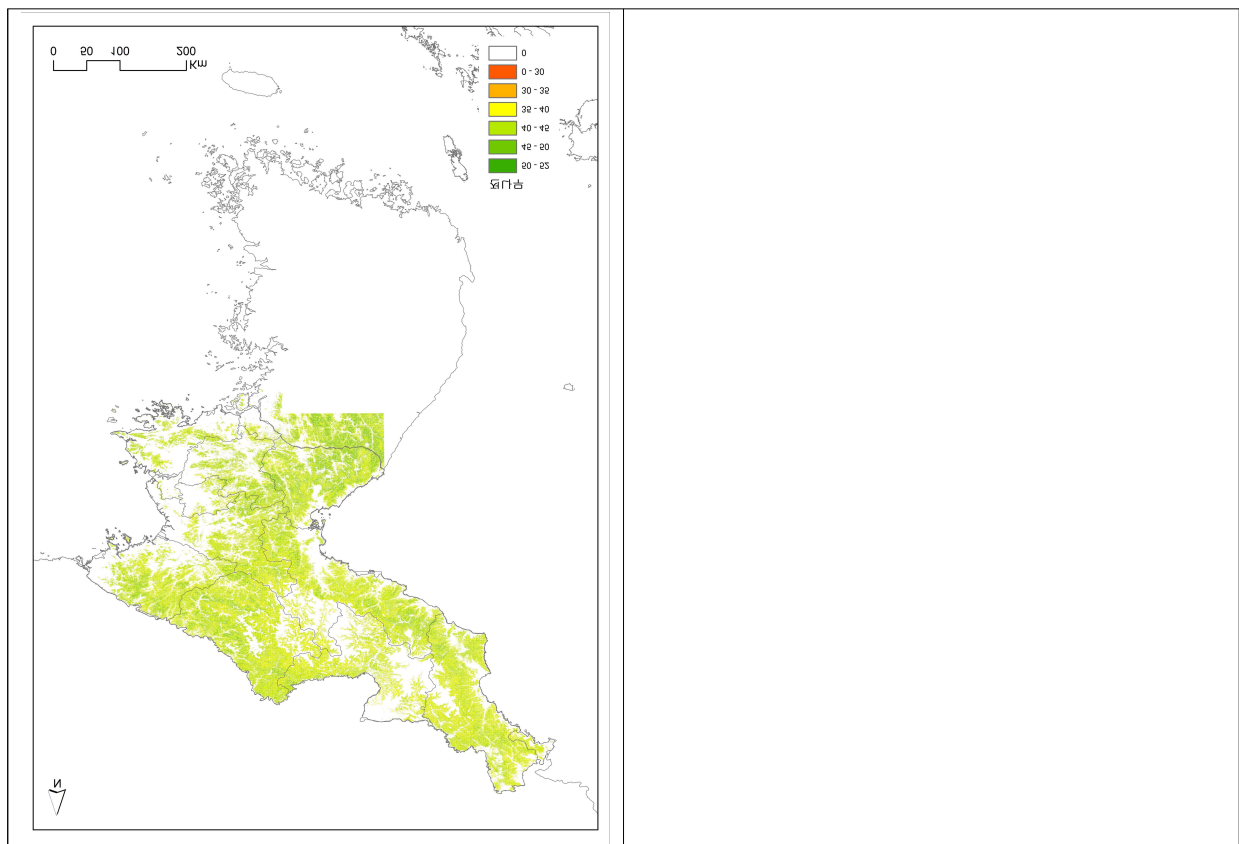


그림 52 전나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

전나무의 조림 가능지는 북한에서 넓은 면적에서 나타나고 있다. 주된 제한 인자는 고도로 적용되었고, 그에 따라 고도가 매우 높거나 매우 낮은 지역과 해안 지역을 제외한 전역에서 조림이 가능한 것으로 판단된다. 반면, 조림 최적지는 상대적으로 좁은 면적에서 나타나고 백두대간 일대에서는 조림 최적지가 나타나지 않고 있다. 이에 반하여 북한의 남쪽 지역에서는 백두대간 일대를 따라 최적지가 중산간 지역에서도 비교적 많이 나타난다.

○ 종비나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	견밀도
1	남부	0-400 2000-									
2		400-800	남	25-		석회암 화산암 화산쇄설물		0-30	약간있다		
3	중부	1600-2000	동	0-15		심성암	LS SL S		습 건	있다	견 강견
4		800-1200	서	15-20	산복 산정	변성암	SiCL SCL CL	30-60	약건	많다	송 연
5	북부 한대	1200-1600	북	20-25	산록 계곡	퇴적암	L SiL	60-	적윤 약습	아주많다	심송

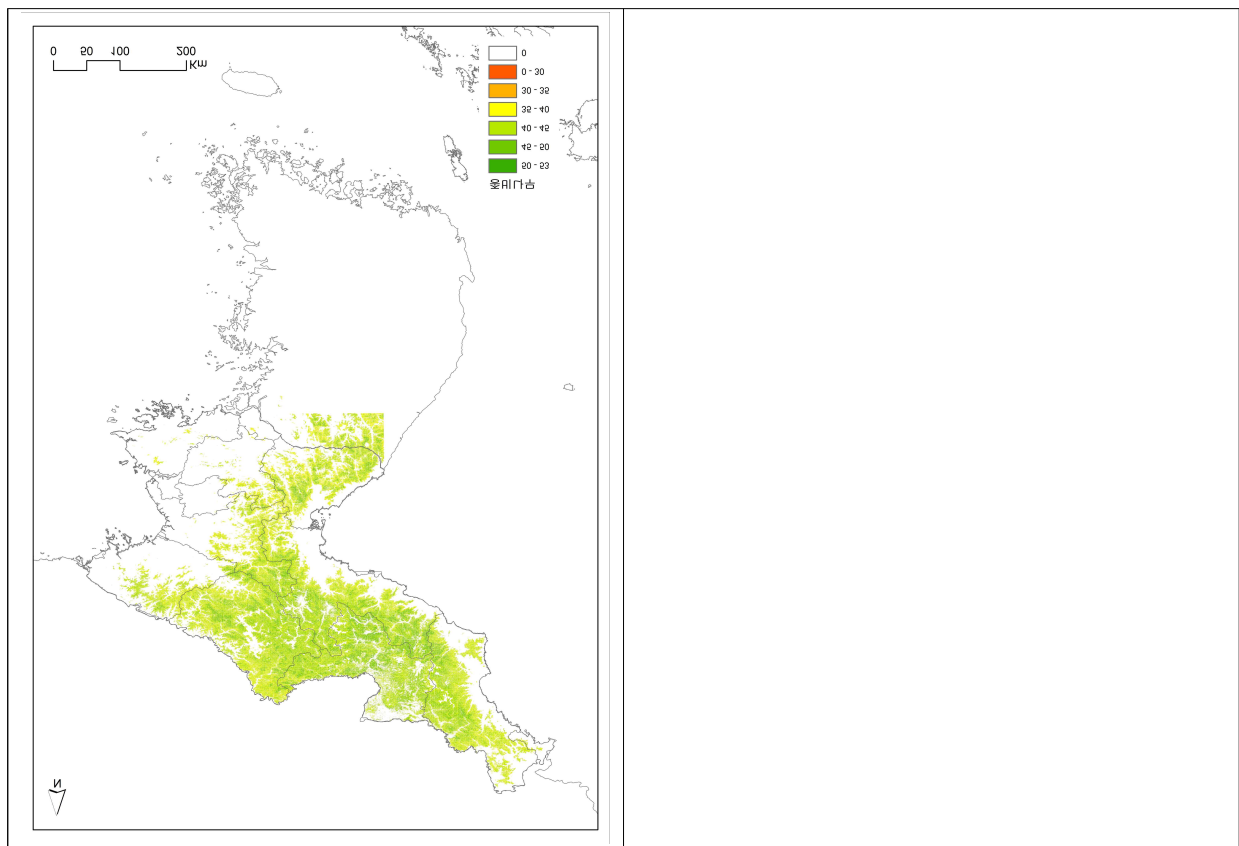


그림 53 종비나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

종비나무의 조림 가능지는 상대적으로 높은 고도가 나타나는 산간지대를 중심으로 분포하고 있다. 고도에 따른 제한에 의해 해안에 인접한 지역은 분포가 불가능한 형태가 나타난다. 조림 최적지는 남쪽에서는 중산간 이하 지역과 일부 고도가 높은 지역을 중심으로 분포지가 나타나고 있고, 북쪽에서는 백두산과 개마고원 일대, 자강도를 중심으로 넓은 면적의 최적지가 분포한다.

3) 기타 활엽수

○ 느티나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대			25-	산정						
2	북부	500-	북	20-25		화산암 화산쇄설물	S LS	0-30	습 건	약간있다	강건 심층
3		300-500	동	15-20	산복	심성암	SiCL SCL		약습	있다	중
4	중부		서			변성암	SL CL	30-60	약건	많다	건
5	남부	0-300	남	0-15	산록 계곡	퇴적암 석회암	L, SiL	60-	적운 약건	아주많다	연

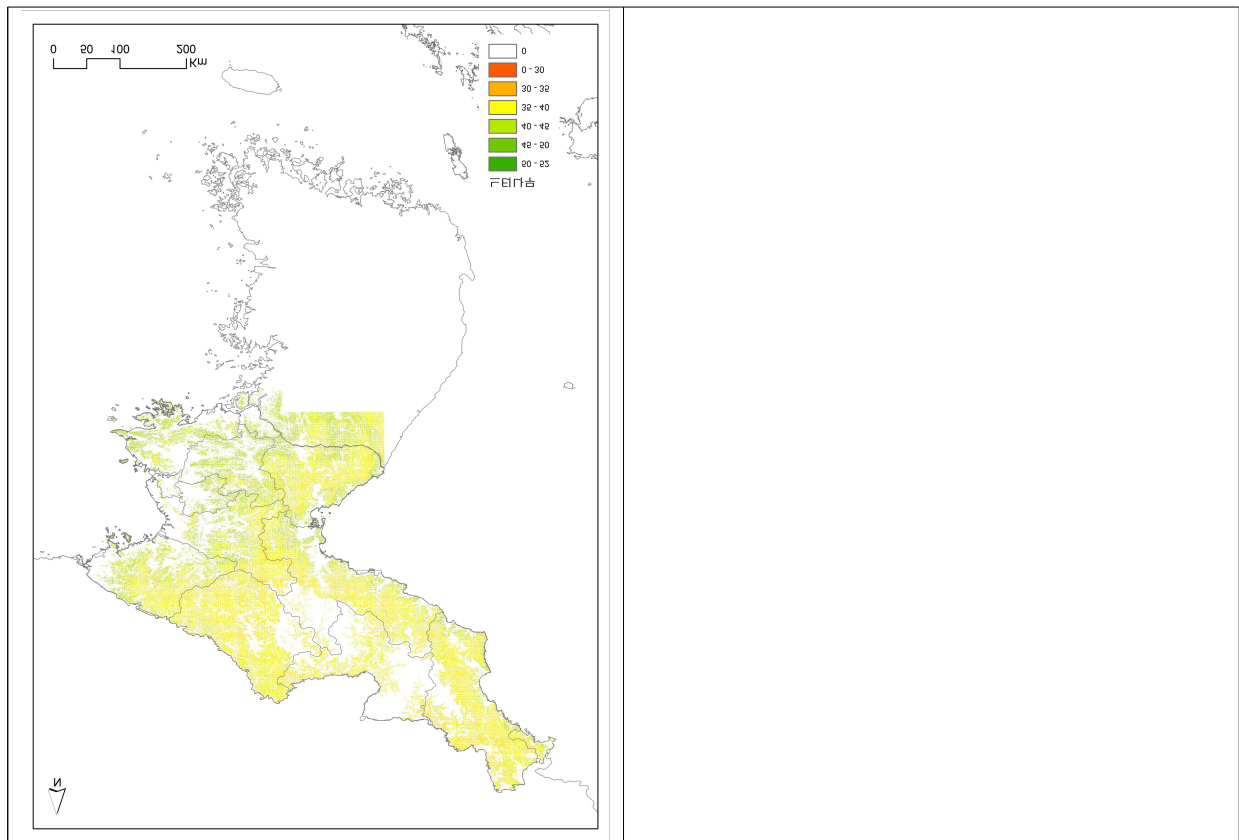


그림 54 느티나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

느티나무의 조림 가능지는 백두산과 개마고원 일대를 제외한 북한 전역에서 나타나고 있으나, 대부분 중간 미만의 적지로 나타나 적지 총합이 낮은 특성이 나타났다. 조림 최적지는 주로 남부의 상대적으로 고도가 낮은 지역을 중심으로 분포하고 있으며, 최적지의 범위가 좁은 형태를 보이고 있어 황해도, 평안도의 일부 중산간 지역에 산포된 형태이다.

○ 들메나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	0-200 1300-			산정				건		
2	남부	1100-1300	북	25-		석회암 화산암 화산쇄설물	S	0-30	약건	약간있다	견 강건
3		200-500	동	20-25			SL LS	30-60		있다	연
4		500-700 900-1100	서	15-20	산복	변성암 심성암	SiCL, CL		습	많다	충
5	북부 중부	700-900	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	L SiL	60-	적운 약습	아주많다	심충

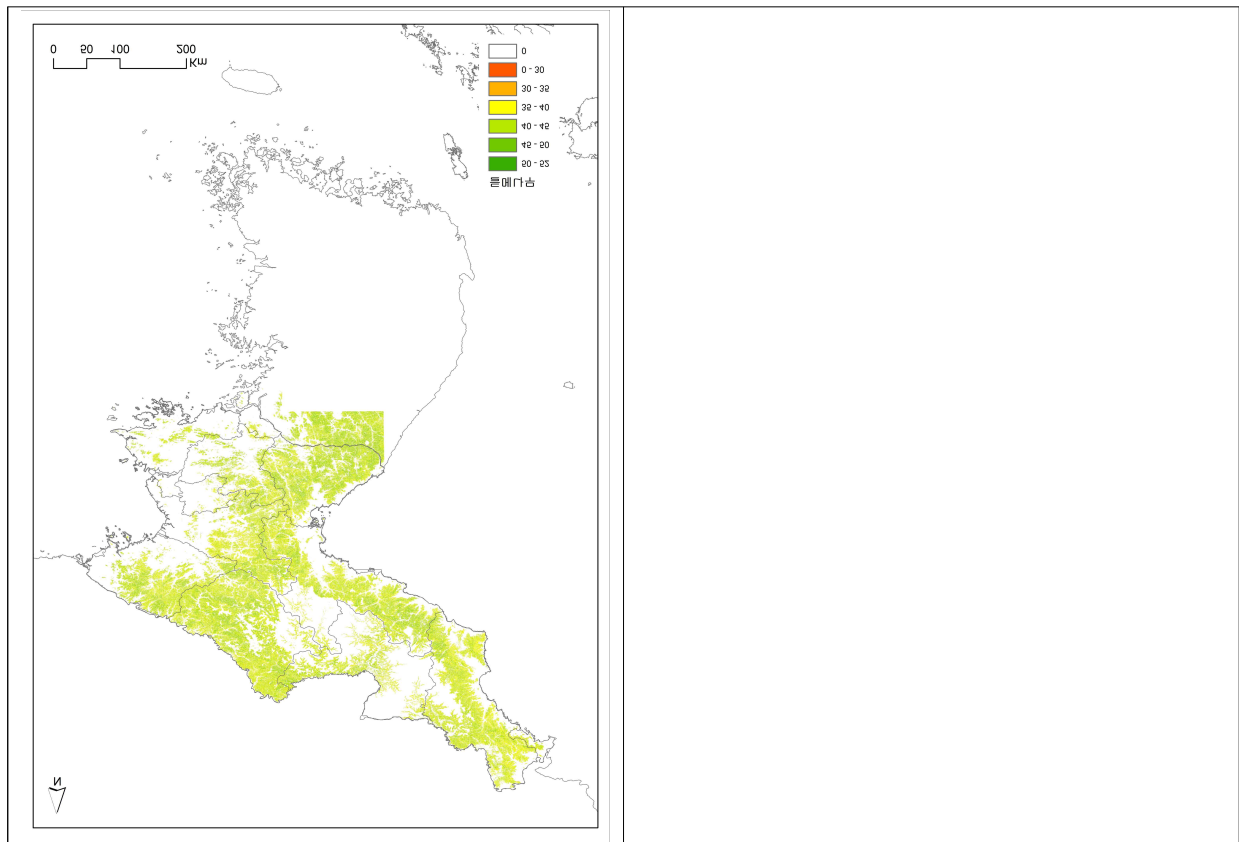


그림 55 들메나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

들메나무의 조림 가능지는 백두대간의 분포와 유사한 형태로 보이나, 백두산과 개마고원 고산지 일대에서는 나타나지 않고, 중산간 지역에 많이 나타난다. 북한의 북쪽에서는 기후대가 주된 제한요인이고, 중부 이남에서는 고도가 주된 제한요인으로 작용한 결과로 판단된다. 조림 최적지의 경우 넓은 범위에서 산발적인 분포를 보이고 있고, 전반적인 패턴을 미루어 보았을 때, 자강도와 함경남도, 강원도 지역에서 조림에 적합한 것으로 보인다.

○ 물푸레나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	0-100 900-			산정						
2		100-200 800-900	북	25-		석회암 화산암 화산쇄설물	S SiL SiCL		건조	약간있다	견장견
3	남부	600-800	동	20-25			LS	0-30	약건	있다	연
4	중부	200-400	서	15-20	산복	변성암 심성암	CL SCL	30-60	습		송
5	북부	400-600	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	SL L	60-	적운 약습	많다 아주많다	심송

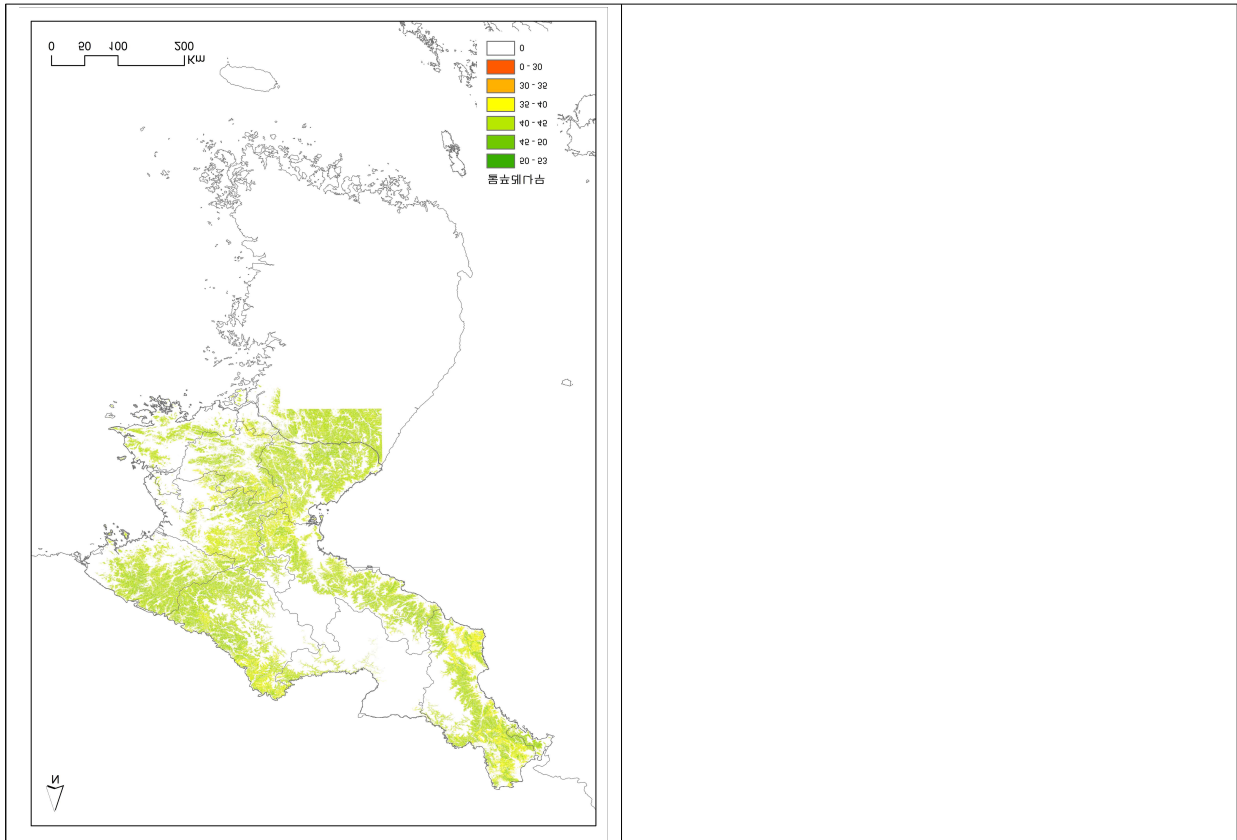


그림 56 물푸레나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

물푸레나무의 조림 가능지는 중산간지역 이하의 저지대를 중심으로 분포하고 있다. 반면 해안에 면한 지역은 조림 선정 지역에서 제외되었고, 이에 따라 북한의 북쪽에서는 백두산과 개마고원을 기준으로 동쪽과 서쪽 지역에서 분포 가능지가 나타나고, 남쪽에서는 동부가 서부보다 분포지가 넓게 나타나고 있다. 조림 최적지의 경우 자강도, 평안북도, 함경북도, 함경남도, 강원도 일대를 중심으로 적지가 나타나고 해안지역, 저지대, 고산지대를 제외한 곳에 주로 나타난다.

○ 밤나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	600-		25-			S				
2			북	20-25	산정	석회암 화산암 화산쇄설물		0-30	건	약간있다	견강건
3		400-600	동				LS	30-60	습	있다	연
4	북부	200-400	서	15-20	산복	변성암 심성암	L SiCL		약건	많다	송
5	중부 남부	0-200	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	SL SiL CL CL	60-	적운 약습	아주많다	심송

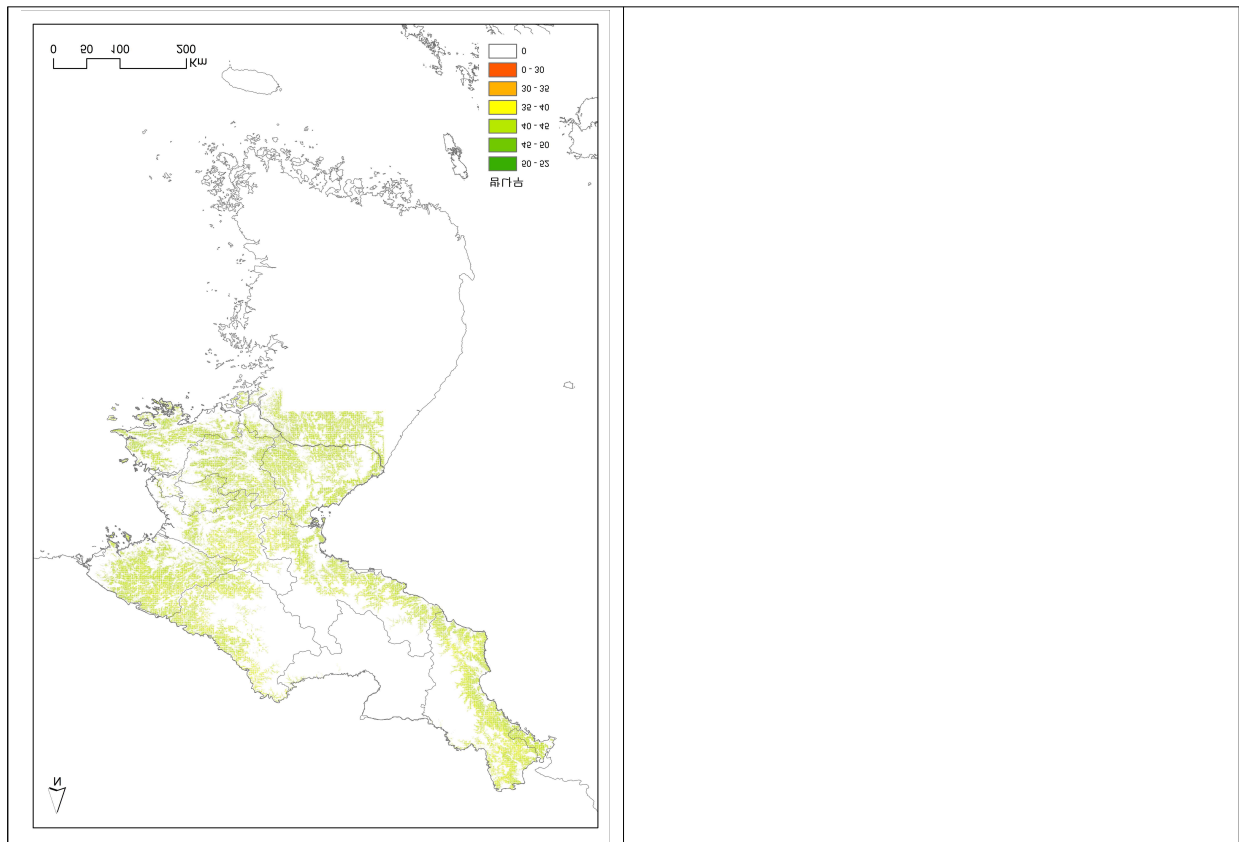


그림 57 밤나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

밤나무의 조림 가능지는 고도가 높은 지역을 제외한 북한 전역에 분포하고 있으나 적지 총합이 다소 낮게 나타난다. 조림 최적지의 경우 중산간 및 저지대 지역 그리고 평안북도 이남의 지역에서 좁은 면적에서 나타나고 있으며 북한 남쪽을 기준으로 서부가 동부보다 평탄하고 해발고가 낮아 조림에 유리할 것으로 판단된다.

○ 아까시나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	500-		30-							
2			북	25-30	산정	화산암 화산쇄설물			습		강건 건 연
3	북부	300-500	동	20-25	계곡	심성암	LS	0-30	건	약간있다	
4	남부	0-100	서	15-20	산복	변성암	SiL SiCL	30-60	약습	있다	송
5	중부	100-300	남	0-15	산록	석회암 퇴적암	L S CL S SCL	60-	적운 약건	많다 아주많다	심송

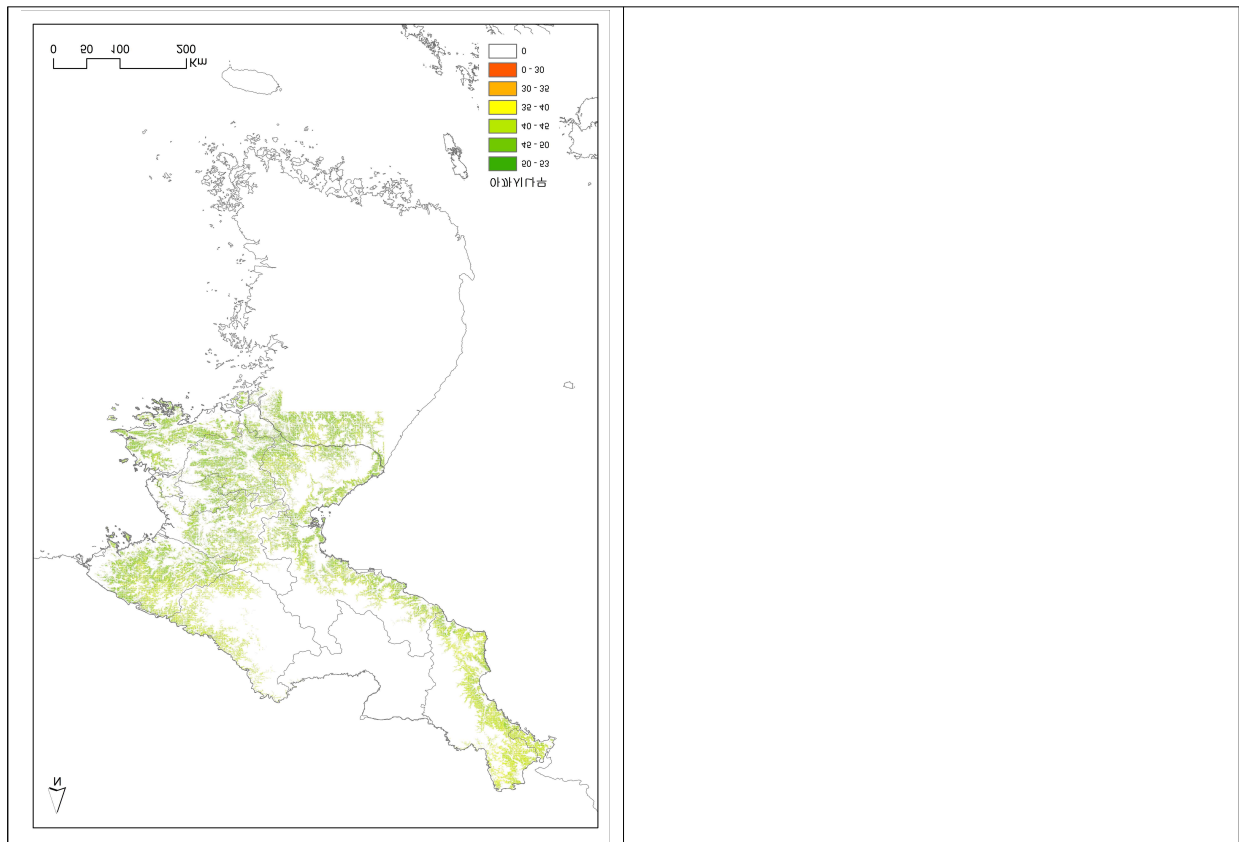


그림 58 아까시나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

아까시나무의 조림 가능지는 고도가 낮은 지역을 중심으로 분포하고 있다. 북쪽의 동부에서는 해안에 인접한 지역을 중심으로 분포지가 나타나고 서부에서는 평안북도, 황해도를 중심으로 분포한다. 해발고도가 높은 자강도, 양강도에는 대상지가 거의 없다. 북한의 중부 이남에서는 상대적으로 넓은 면적에서 분포지가 나타나고 있다. 조림 최적지의 경우 조림 가능지의 높은 비율이 해당하고 있고, 따라서 조림 가능지의 분포 패턴이 그대로 나타나는 결과가 나타난다.

○ 백합나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대 북부	500-		25-				0-30	건		
2			북	20-25	산정	화산암 화산쇄설물	S SL			약간있다	강건 심송
3		300-500	동	15-20	계곡	심성암	LS SCL	30-60	습	있다	송
4	중부	0-100	서		산복	변성암	CL L		약건	많다	견
5	남부	100-300	남	0-15	산록	석회암 퇴적암	SiL SiCL	60-	적운 약습	아주많다	연

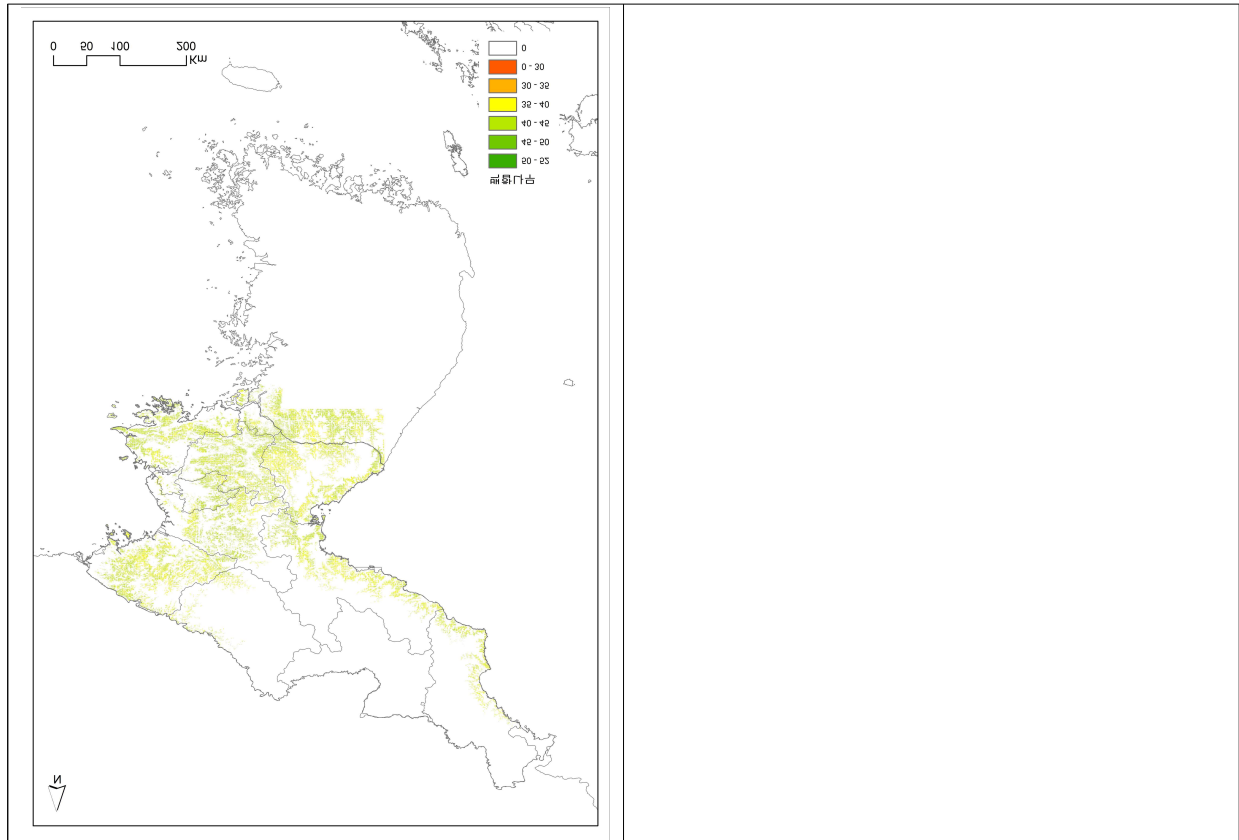


그림 59 백합나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

백합나무의 조림 가능지는 해발고도가 낮고 상대적으로 기후가 온화한 북한의 중부 이남에서 적합한 것으로 보이고, 북쪽에서는 평안북도와 일부 해안에 인접한 지역으로 제한되어 나타나고 있다. 전반적으로 다소 낮은 적지 총합이 나타나 넓은 면적에서 대규모의 조림이 이루어지기는 힘든 것으로 판단된다. 조림 최적지는 일부 지역에서만 좁게 산포하고 있어 도입수종인 백합나무의 원산지와 생장을 고려하면 실제 조림 장소는 매우 제한적인 것으로 보인다.

○ 포플러나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	500-		25-	산정			0-30			
2			북	20-25		석회암 화산암 화산쇄설물	SiL SiCL		습 건	약간있다	강건 심층
3	북부	300-500	동	15-20	산복	심성암	LS S	30-60	약습	있다	층
4	중부		서			변성암	SC CL		약건	많다	건
5	남부	0-300	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	SL L	60-	적윤	아주많다	연

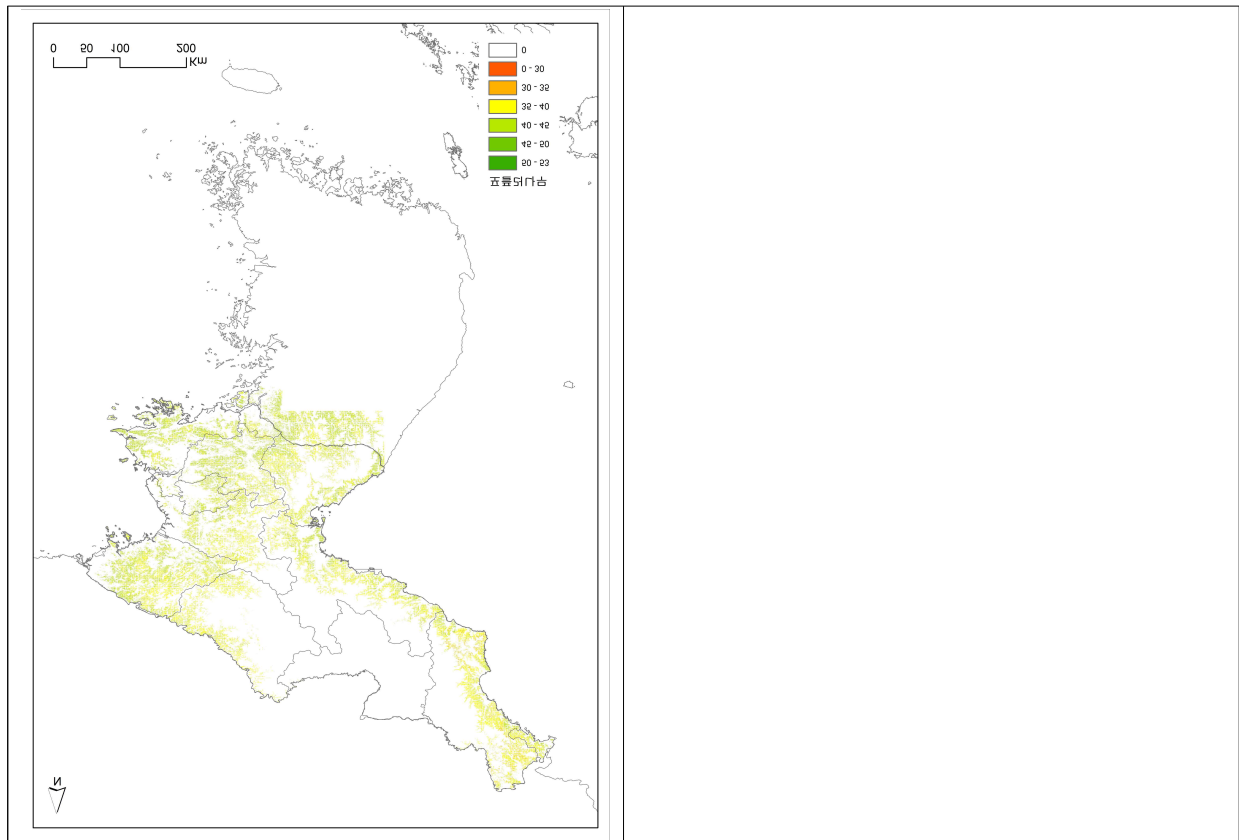


그림 60 포플러나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

포플러나무의 조림 가능지는 고도가 낮은 지역과 중산간 지역에 일부 나타나고 있고 동쪽지역은 해안지역에 밴드 형태로 나타나고 서쪽지역은 비교적 폭넓게 나타난다. 백합나무와 비교하였을 때 분포 면적이 다소 넓고 적지 총합은 유사한 형태를 보이고 있다. 조림 최적지의 경우 일부 지역에서 좁게 나타나 대면적 조림은 힘들 것으로 보인다.

○ 피나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대	0-400 1200-									
2		400-600	남	25-	산경	석회암 화산암 화산쇄설물	S	0-30	건조 습	약간있다	견 강건
3	남부	1000-1200	동	20-25	산복		SL LS	30-60	약건	있다	연
4		800-1000	서	15-20		변성암 심성암	SiCL SCL CL		약습	많다	송
5	북부 중부	600-800	북	0-15	산록 계곡	퇴적암	L SiL	60-	적윤	아주많다	심송

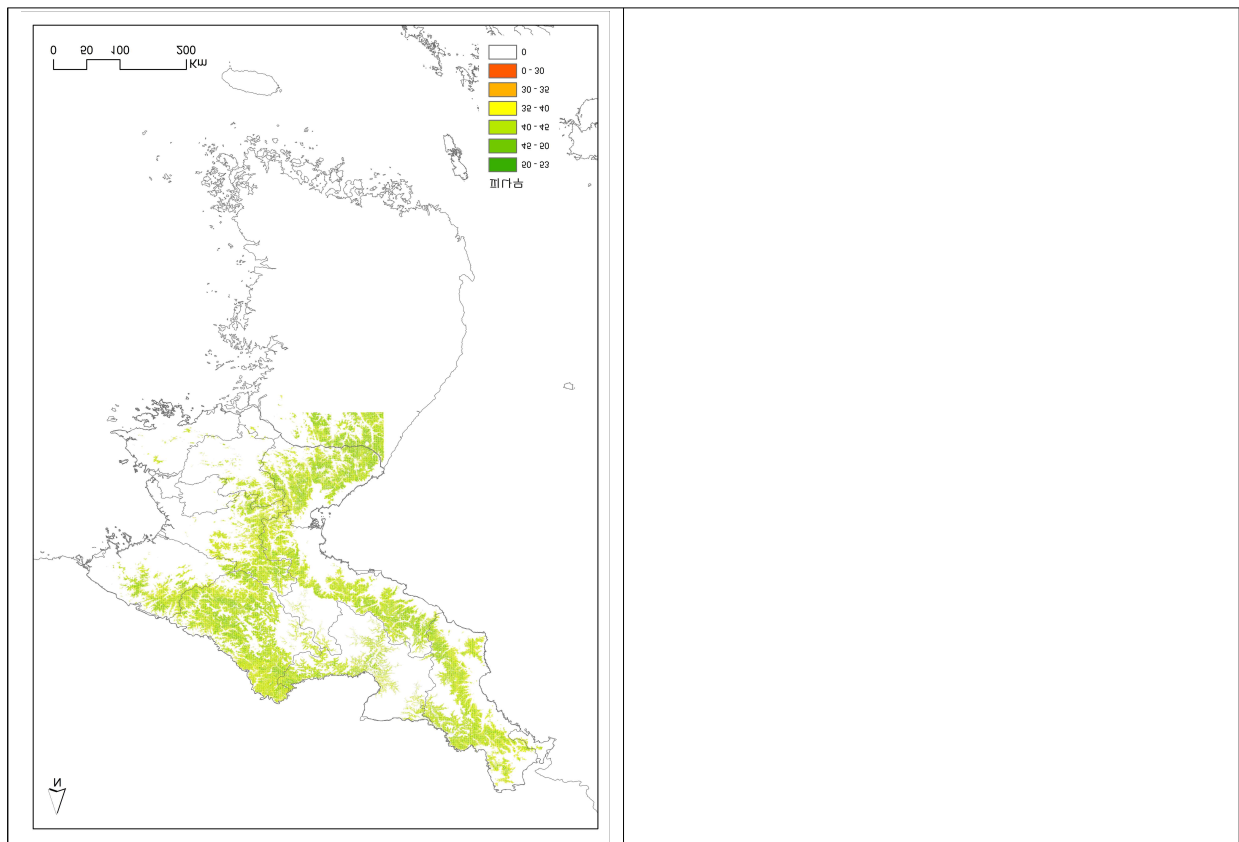


그림 61 피나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

피나무의 조림 가능지는 백두산과 개마고원 일대를 제외한 중산간지역 이상의 백두대간을 중심으로 분포하고 있고 조림 가능지가 산포되어 있지 않고 연결되어 있는 특징을 보인다. 조림 최적지의 경우 조림 가능지의 패턴과 유사한 형태를 보이고 있으며 그 면적이 상대적으로 넓게 나타나고 있으며 산악지에 많이 분포되고 있다.

○ 호두나무

점수	기후대	고도 (m)	방위 (°)	경사 (°)	지형	모암	토성	토심 (cm)	습도	유기물	건밀도
1	한대 북부	400-		25-	산정						
2			북	20-25	산복	석회암 화산암 화산쇄설물	LS S	0-30	습 건	약간있다	견 강건
3		200-400	동			심성암	SiL SCL SiCL	30-60		있다	연
4			서	15-20		변성암	L CL		약건	많다	송
5	남부 중부	0-200	남	0-15	산록 계곡	퇴적암	SL	60-	적윤 약습	아주많다	심송

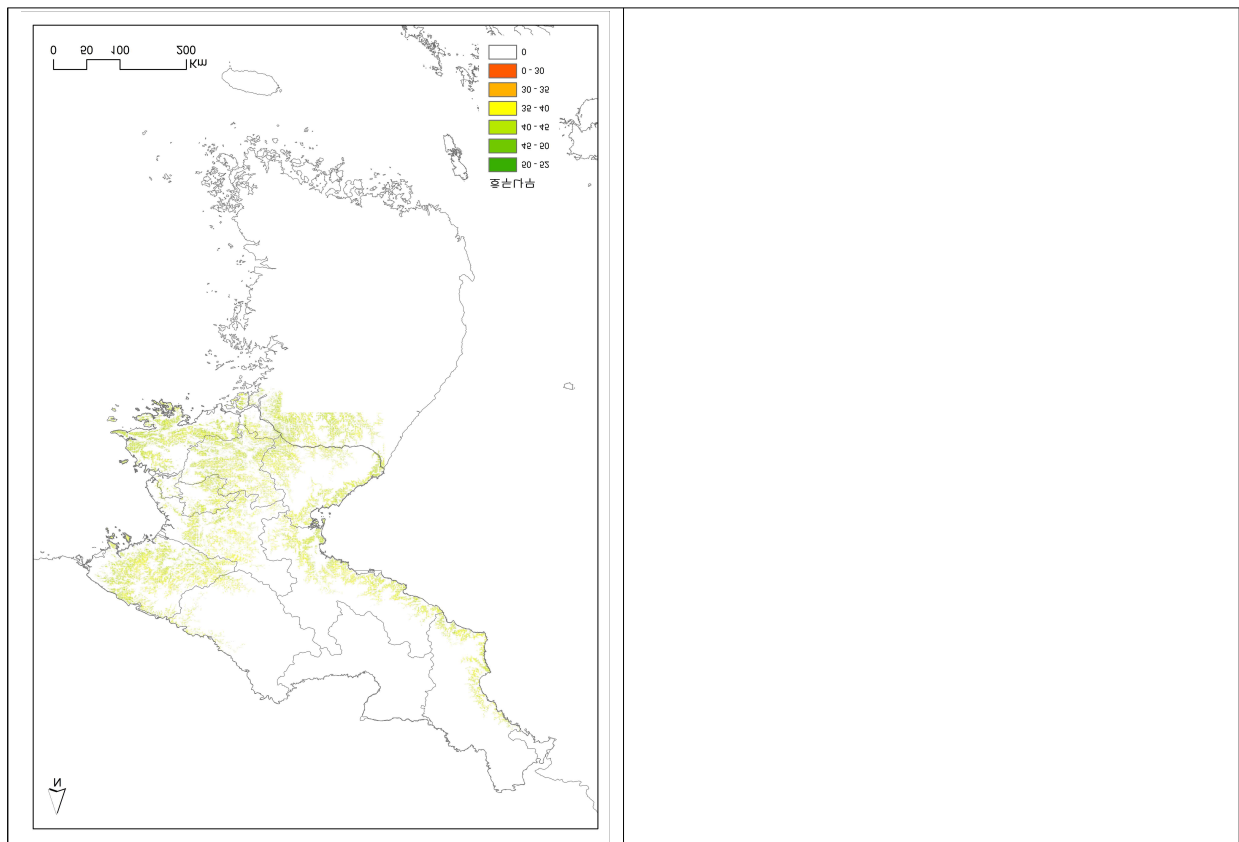


그림 62 호두나무 조림 적지 기준 및 도면 (좌)조림 가능지 (우)조림 최적지

호두나무의 조림 가능지는 고도가 낮은 지역을 중심으로 분포하고 있고, 적지 총합이 낮은 수준으로 나타났다. 조림 최적지의 경우 대부분 저지대 일부 지역에서 매우 좁은 분포 면적을 보이고 호두나무의 조림이 제한적인 것을 알 수 있다.

4) 수종별 적정 조림 지역 리스트

표 37 수종별 적정 조림 지역

수종	조림 적정 지역					
	지역명	적정성	지역구분	지역명	적정성	비고
소나무	나진선봉시	○		평양시	×	
	함경북도	○	남부, 동부	남포시	×	
	함경남도	○		황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	○	서부	강원도	△	
	평안북도	○		개성시	×	
	평안남도	△		-	-	-
잎갈나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	○	서부	남포시	×	
	함경남도	△		황해북도	×	
	양강도	○	남부	황해남도	×	
	자강도	○	중부, 남부	강원도	△	
	평안북도	△		개성시	×	
	평안남도	△		-	-	-
잣나무	나진선봉시	△		평양시	×	
	함경북도	○	서부	남포시	×	
	함경남도	△		황해북도	×	
	양강도	△		황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	△		개성시	×	
	평안남도	△		-	-	-
일본잎갈나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	△		남포시	×	
	함경남도	○		황해북도	△	
	양강도	×	×	황해남도	×	
	자강도	○	서부	강원도	△	
	평안북도	○	북부	개성시	×	
	평안남도	△		-	-	-
신갈나무	나진선봉시	△		평양시	×	
	함경북도	○		남포시	×	
	함경남도	○		황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	○	중부, 북부	개성시	×	
	평안남도	×		-	-	-

수종	조림 적정 지역					
자작나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	△		남포시	×	
	함경남도	△		황해북도	×	
	양강도	△		황해남도	×	
	자강도	△		강원도	△	
	평안북도	×		개성시	×	
	평안남도	×		-	-	-
상수리나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	△	해안	남포시	×	
	함경남도	△	해안	황해북도	○	
	양강도	×		황해남도	○	
	자강도	×		강원도	○	
	평안북도	○		개성시	×	
	평안남도	△		-	-	-
가문비나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	△		남포시	×	
	함경남도	△		황해북도	×	
	양강도	○		황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	△		개성시	×	
	평안남도	×		-	-	-
곰솔	나진선봉시	×		평양시	△	동부
	함경북도	△	해안	남포시	△	
	함경남도	△	해안	황해북도	○	중부, 남부, 서부
	양강도	×		황해남도	○	
	자강도	×		강원도	△	해안
	평안북도	△	남부, 서부	개성시	○	
	평안남도	△	서부	-	-	-
리기다소나무	나진선봉시	×		평양시	△	
	함경북도	△	해안	남포시	○	
	함경남도	△	해안	황해북도	○	
	양강도	×		황해남도	○	
	자강도	×		강원도	△	해안
	평안북도	○		개성시	○	
	평안남도	○	서부	-	-	-
분비나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	○		남포시	×	
	함경남도	○	동부	황해북도	×	
	양강도	○		황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	△	북부	개성시	×	
	평안남도	△	동부	-	-	-

수종	조림 적정 지역					
스트로브잣나무	나진선봉시	△		평양시	△	동부
	함경북도	△	동부	남포시	△	
	함경남도	△		황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	△	북부, 남부, 서부	강원도	△	
	평안북도	△		개성시	△	
	평안남도	△	동부	-	-	-
전나무	나진선봉시	△		평양시	×	
	함경북도	△		남포시	×	
	함경남도	○	중부, 동부	황해북도	△	
	양강도	△		황해남도	△	
	자강도	○	북부, 남부, 서부	강원도	○	
	평안북도	○	북부	개성시	△	
	평안남도	○	동부	-	-	-
종비나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	△	서부	남포시	×	
	함경남도	△	북부	황해북도	×	
	양강도	○		황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	△	북부	개성시	×	
	평안남도	×		-	-	-
느티나무	나진선봉시	△		평양시	○	
	함경북도	△		남포시	△	
	함경남도	△		황해북도	○	
	양강도	△		황해남도	○	
	자강도	△		강원도	△	
	평안북도	△		개성시	○	
	평안남도	△		-	-	-
들메나무	나진선봉시	△		평양시	×	
	함경북도	△		남포시	×	
	함경남도	○		황해북도	△	
	양강도	△	서부	황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	○	북부	개성시	△	
	평안남도	△	동부	-	-	-
물푸레나무	나진선봉시	○		평양시	×	
	함경북도	○		남포시	×	
	함경남도	○		황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	○	남부, 서부	강원도	○	
	평안북도	○	중부, 북부	개성시	△	
	평안남도	△	동부	-	-	-

수종	조림 적정 지역					
	나진선봉시			평양시		
밤나무	나진선봉시	△		평양시	△	
	함경북도	△		남포시	△	
	함경남도	△		황해북도	○	
	양강도	×		황해남도	○	
	자강도	△		강원도	△	
	평안북도	○		개성시	△	
	평안남도	△		-	-	-
아까시나무	나진선봉시	△		평양시	○	동부
	함경북도	○	해안	남포시	○	
	함경남도	○	해안	황해북도	○	
	양강도	×		황해남도	○	
	자강도	×		강원도	△	
	평안북도	○		개성시	○	
	평안남도	○		-	-	-
백합나무	나진선봉시	×		평양시	△	
	함경북도	△	해안	남포시	△	
	함경남도	△	해안	황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	×		강원도	△	
	평안북도	△		개성시	△	
	평안남도	△		-	-	-
포플러나무	나진선봉시	△		평양시	△	
	함경북도	△	해안	남포시	△	
	함경남도	△	해안	황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	×		강원도	△	
	평안북도	△		개성시	△	
	평안남도	△		-	-	-
피나무	나진선봉시	×		평양시	×	
	함경북도	○	중부, 북부	남포시	×	
	함경남도	○	중부, 동부, 서부	황해북도	×	
	양강도	○	서부	황해남도	×	
	자강도	○		강원도	○	
	평안북도	○	북부	개성시	×	
	평안남도	△	동부	-	-	-
호두나무	나진선봉시	×		평양시	△	
	함경북도	△	해안	남포시	△	
	함경남도	△	해안	황해북도	△	
	양강도	×		황해남도	△	
	자강도	×		강원도	△	
	평안북도	△		개성시	△	
	평안남도	△		-	-	-

5) 도별 적정 조립 수종 리스트

표 38 행정구역상 도별 적정 조립 수종

지역	적정 조립 수종
나진선봉시	소나무, 잣나무, 신갈나무, 스트로브잣나무, 전나무, 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무, 포플러나무
함경북도	소나무(남부, 동부), 잎갈나무(서부), 잣나무(서부), 일본잎갈나무, 신갈나무, 자작나무, 상수리나무, 가문비나무, 곰솔(해안), 리기다소나무(해안), 분비나무, 스트로브잣나무(동부), 전나무, 종비나무(서부), 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무(해안), 백합나무(해안), 포플러나무(해안), 피나무(중부, 북부), 호두나무(해안)
함경남도	소나무, 잎갈나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 자작나무, 상수리나무(해안), 가문비나무, 곰솔(해안), 리기다소나무(해안), 분비나무(동부), 스트로브잣나무, 전나무(중부, 동부), 종비나무(북부), 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무(해안), 백합나무(해안), 포플러나무(해안), 피나무(중부, 동부, 서부), 호두나무(해안)
양강도	잎갈나무(남부), 잣나무, 자작나무, 가문비나무, 분비나무, 전나무, 종비나무, 느티나무, 들메나무, 피나무
자강도	소나무(서부), 잎갈나무(중부, 남부), 잣나무, 일본잎갈나무(서부), 신갈나무, 자작나무, 가문비나무, 분비나무, 스트로브잣나무(북부, 남부, 서부), 전나무(북부, 남부, 서부), 종비나무, 느티나무, 들메나무, 물푸레나무(남부, 서부), 밤나무, 피나무
평안북도	소나무, 잎갈나무, 잣나무, 일본잎갈나무(북부), 신갈나무(중부, 북부), 상수리나무, 가문비나무, 곰솔(남부, 서부), 리기다소나무, 분비나무(북부), 스트로브잣나무, 전나무(북부), 종비나무(북부), 느티나무, 들메나무(북부), 물푸레나무(중부, 북부), 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 피나무(북부), 호두나무
평안남도	소나무, 잎갈나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 상수리나무, 곰솔(서부), 리기다소나무(서부), 분비나무(동부), 스트로브잣나무(동부), 전나무(동부), 느티나무, 들메나무(동부), 물푸레나무(동부), 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 피나무(동부), 호두나무
평양시	곰솔(동부), 리기다소나무, 스트로브잣나무(동부), 느티나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 호두나무
남포시	곰솔, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 느티나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 호두나무
황해북도	소나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 상수리나무, 곰솔, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 느티나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 호두나무
황해남도	소나무, 상수리나무, 곰솔, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 전나무, 느티나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 호두나무
강원도	소나무, 잎갈나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 자작나무, 상수리나무, 가문비나무, 곰솔(해안), 리기다소나무(해안), 스트로브잣나무, 전나무, 종비나무, 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 피나무, 호두나무
개성시	곰솔, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 전나무, 느티나무, 들메나무, 물푸레나무, 밤나무, 아까시나무, 백합나무, 포플러나무, 호두나무

3.2.5 황폐 산지 복구 수종 및 도면

당해년도의 연구 결과와 작년도 과업에서 정의한 황폐지 분류 및 복구 방법과 황폐지 구분 공간 자료를 연계하여 황폐 산지 복구에 적합한 수종을 선발하였다. 작년도 과업에서는 북한의 황폐지를 지피식생 유무, 토양 침식 정도, 경작 여부 등을 기준으로 무림목지, 산간나지, 개간산지 등 3가지로 구분하였다(표 39). 그리고 이러한 황폐지 구분 기준에 따라 위성 영상을 분석하여 황폐지 확률을 추정하고 각 황폐지 분류에 대한 공간 자료를 구축하였다(그림 63). 본 연구에서는 과업 결과를 각 수종별 조림 적지 및 용도를 고려하여 각 황폐지 구분별로 조림에 적합한 수종을 제시하고, 이를 작년도에 구축한 황폐지 공간 자료와 연계하여 수종별 황폐지 조림 지도를 작성하였다.

표 39 작년도 과업에서 제시한 북한의 황폐지 분류 및 정의

분류	정의
무림목지	교란에 의하여 관목지 상태로 남아있는 산지
산간나지	황폐화가 지속되어 지피식생이 없이 토양 침식이 지속되고 있는 민둥산
개간산지	산림을 개간하여 농작물을 재배하는 비탈밭 형태의 한계농지

황폐산지 중 무림목지는 산지의 30%인 267만ha, 개간산지는 4%인 34.6만ha, 산간나지는 0.2%인 1.7만ha로 나타났으며 황폐산지 면적이 가장 많은 행정구역은 함경남도 44.2만ha이고 함경북도 39.8만ha, 양강도 33.2만ha의 순으로 나타나 함경도지역의 황폐화가 심한 것으로 나타났으며 황폐화율은 개성시가 83%로 가장 높으며 남포시 77%, 평양시 59%순으로 나타났으며 이외 다른 시도는 대부분 황폐화율이 30-40%정도이다.

황폐지 분류 자료와 황폐지 확률도를 확인해 보면 서로 다른 특성을 지닌 것을 확인할 수 있다. 황폐지 확률도는 황폐지가 분포하거나 진행될 가능성이 높은 지역을 중심으로 분석 되었는데, 이를 영상에 의한 황폐지 분류 결과와 비교해 보면 황폐지 확률이 높은 지역과 실제 황폐지의 상관 관계가 모든 지역에서 높게 나타나지는 않는다. 북한 현지의 최근 사진 자료를 보면 황폐화가 극심하게 진행된 것을 확인할 수 있고, 특히 무림목지와 개간산지는 북한의 산지를 구성하는 가장 보편적인 요소인 것으로 판단된다. 무림목지는 계절에 따라 초본류로 피복되어 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 명확하게 구분될 수 있는데, 이런 경우 영상의 종류와 사용한 영상의 시기에 따라 서로 다른 결과가 도출될 수 있다. 또한 황

폐지를 분석하고 분류하는 연구 목적에 따라 시간적 범위를 명확하게 설정할 필요가 있다. 현재 보유한 자료인 황폐지 분류도와 확률도는 장기적인 관점에서 북한 산지에 대한 예측에 활용성이 높은 것으로 판단된다.

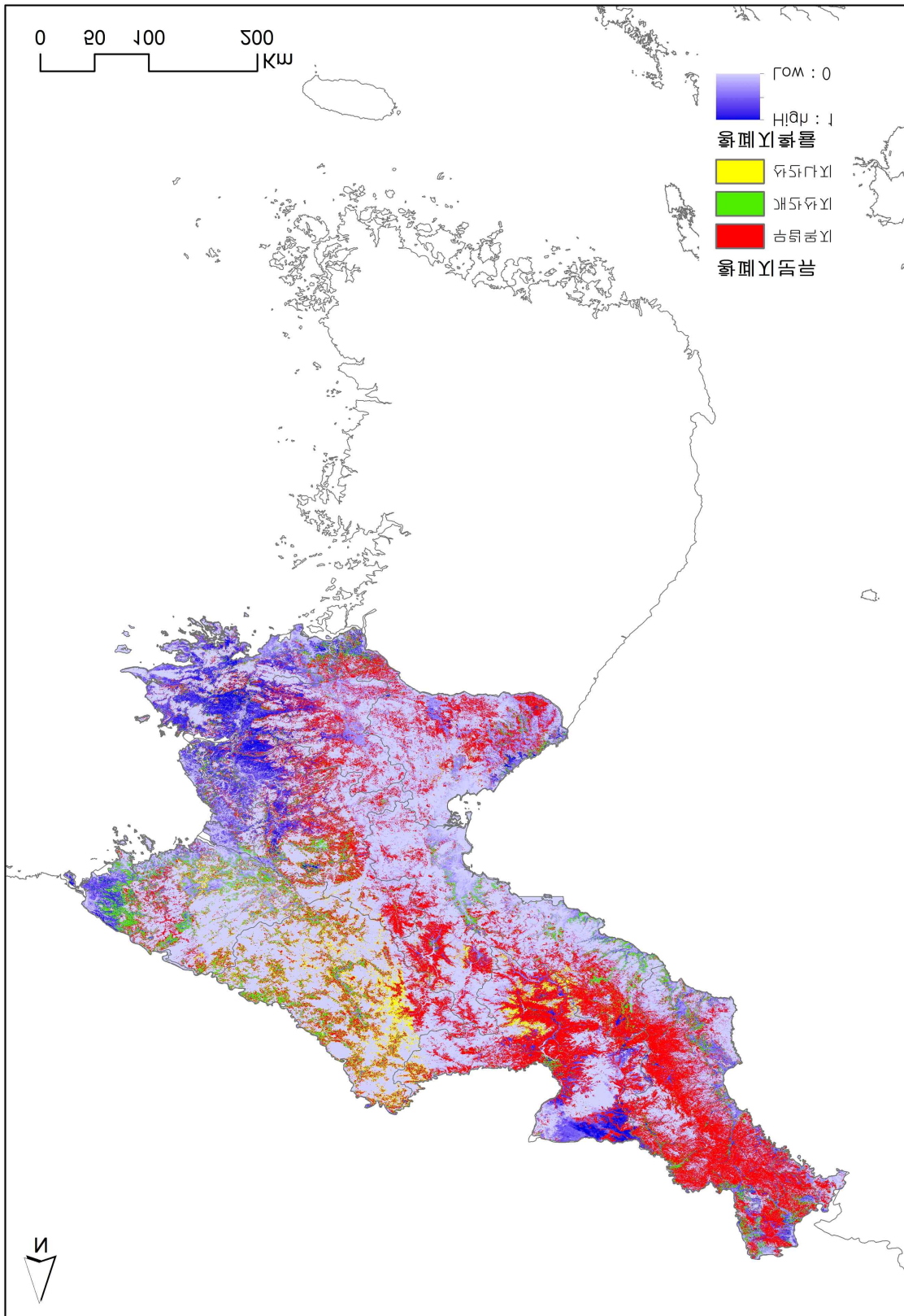


그림 63 북한의 황폐지 분류와 황폐지 확률도

1) 무림목지

작년도 과업 내용에 따르면 무림목지란 “교란에 의하여 관목지 상태로 남아 있는 산지”를 의미한다. 즉, 무림목지는 교란은 되었으나, 초본 식물 및 관목 등 피복 식물이 잔존하여 토양 침식이 상대적으로 크지 않은 지역으로 볼 수 있다. 따라서 무림목지의 경우, 별도의 사방 공사 없이 일반조림을 실시하고, 각 도별 적정 조림수종 목록 및 수종별 조림 적지에 근거하여 조림 수종을 선택하는 것을 복구 원칙으로 하였다(표 40).

표 40 무림목지의 입지 기준에 따른 적정 조림수종

복구 사업	지역	적정 조림수종
일반조림	황해남북도	소나무, 잎갈나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 상수리나무
	강원도	소나무, 잎갈나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 상수리나무
	평안남북도	소나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 상수리나무
	자강도	소나무, 잎갈나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 자작나무
	양강도	잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 자작나무
	함경남북도	소나무, 잎갈나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 상수리나무, 자작나무

북한의 무림목지는 267만ha로 함경남도 44.2만ha, 39.8만ha, 양강도 33.2만ha, 강원도 29.4만ha, 자강도 26.7만ha로 이 지역이 전체 2/3를 차지하고 있고 해안지역보다는 산악지에 많은 것이 특징적이다. 이러한 현상은 벌채 후 조림 등을 통한 후계림 조성이 미비한 것에서 기인한 것으로 보인다.

무림목지 조림 수종인 상수리나무는 강원도, 황해남도, 황해북도, 평안남도와 평안북도에 주로 조림이 가능할 것으로 나타났으며 소나무는 강원도, 함경북도, 함경남도에 많이 해당이 되고 이외 지역에도 고루 분포가 되어있다. 신갈나무와 일본잎갈나무는 함경남도, 함경북도, 자강도, 양강도와 강원도가 주대상이고 잎갈나무와 자작나무는 함경남도, 함경북도, 양강도의 산악지역이 주 대상지로 나타났고 잣나무는 강원도, 함경북도, 함경남도, 자강도, 양강도에 주로 조림이 가능할 것으로 나타났다.

그림 64 북한의 무림목지 분포

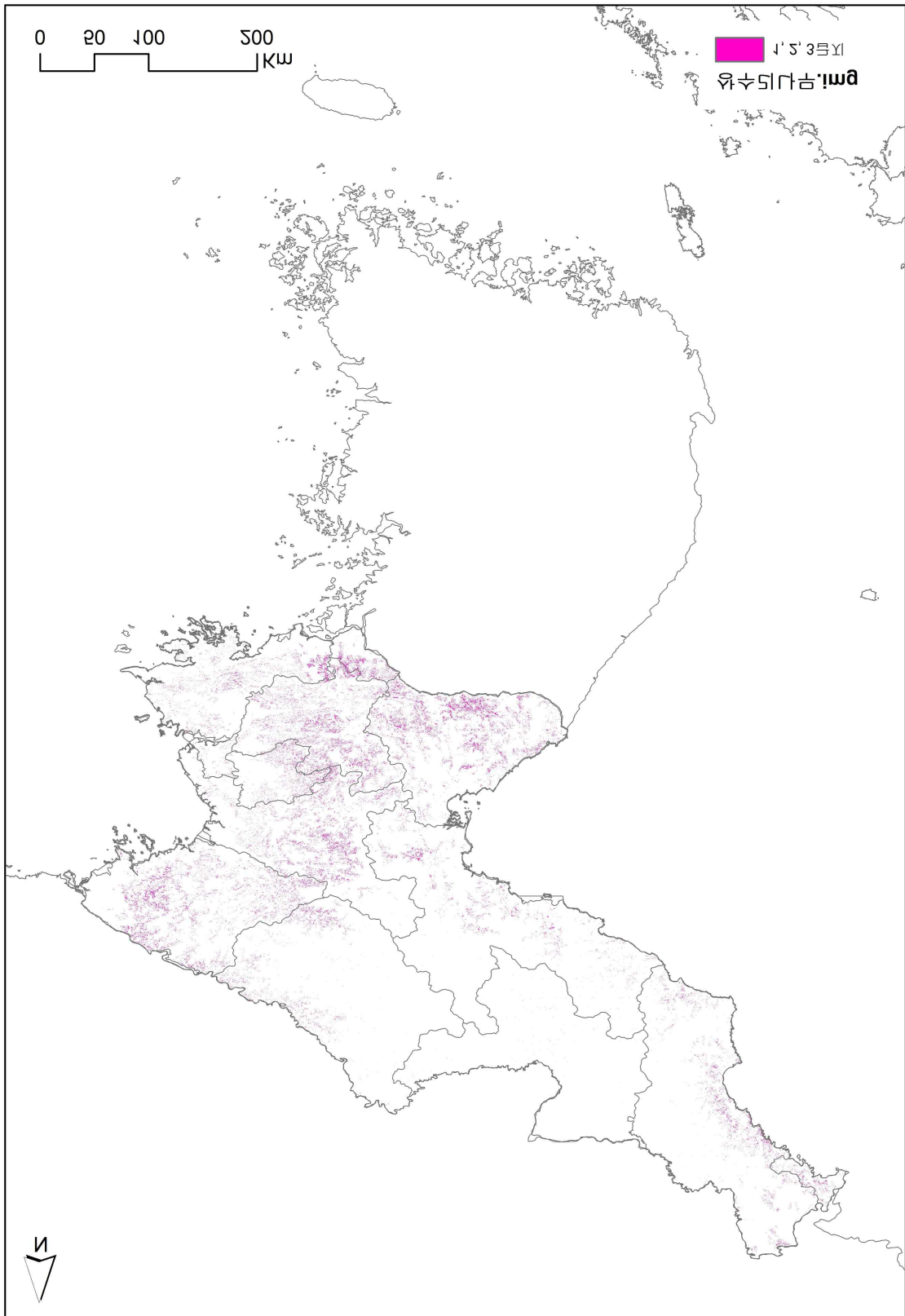


그림 65 상수리나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

그림 66 소나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

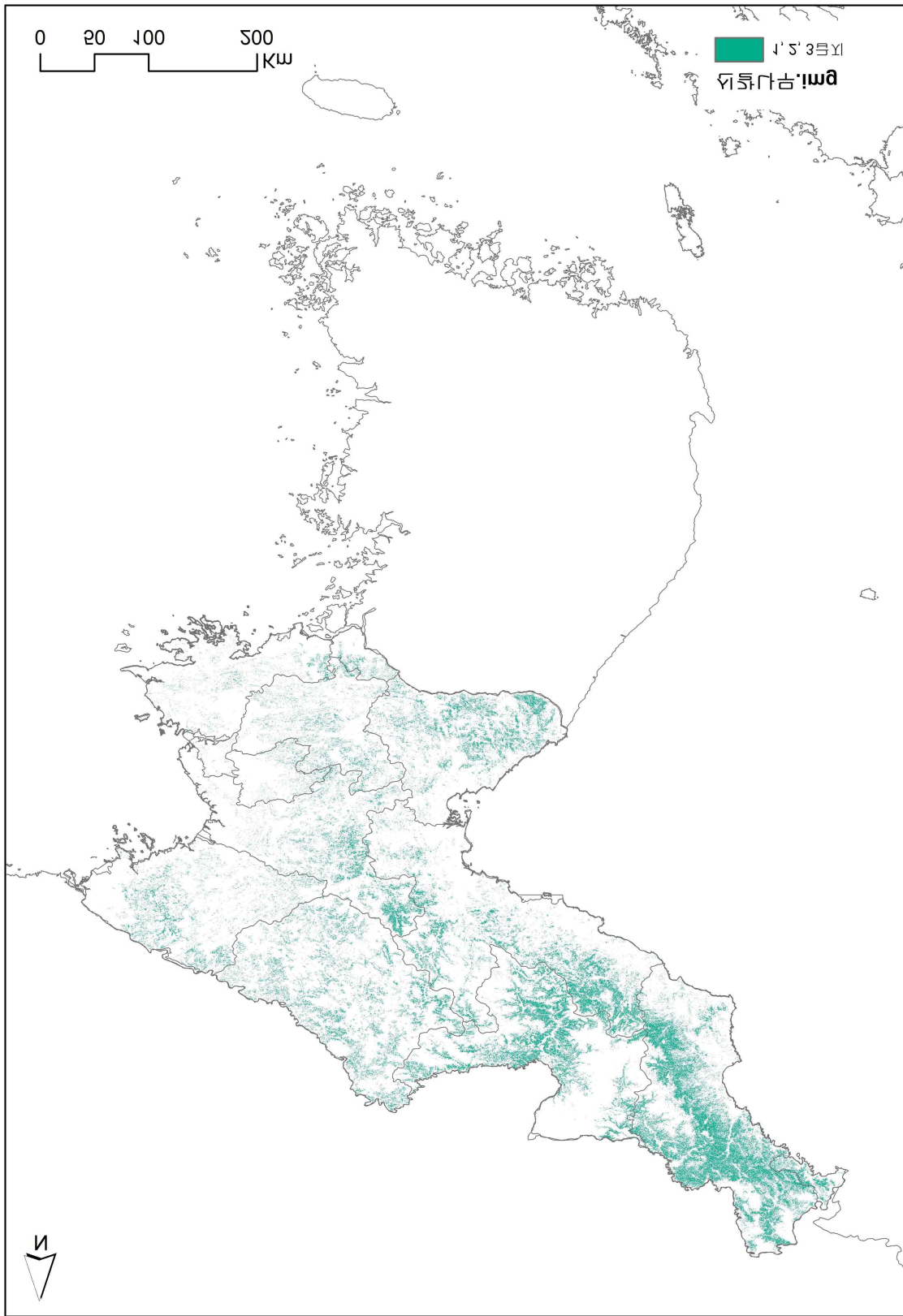


그림 67 신갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

그림 68 일본잎갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

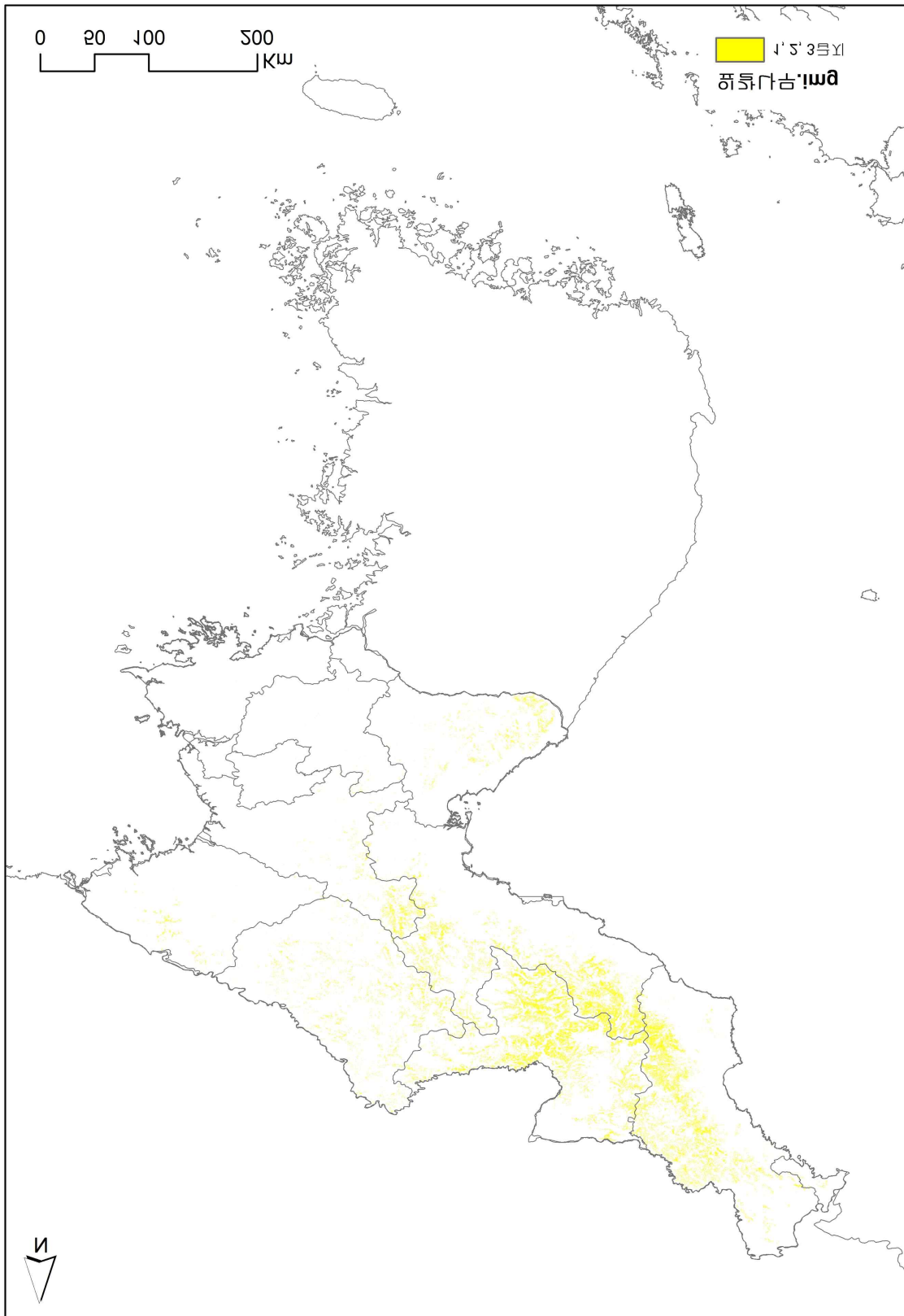


그림 69 일갈나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

그림 70 자작나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

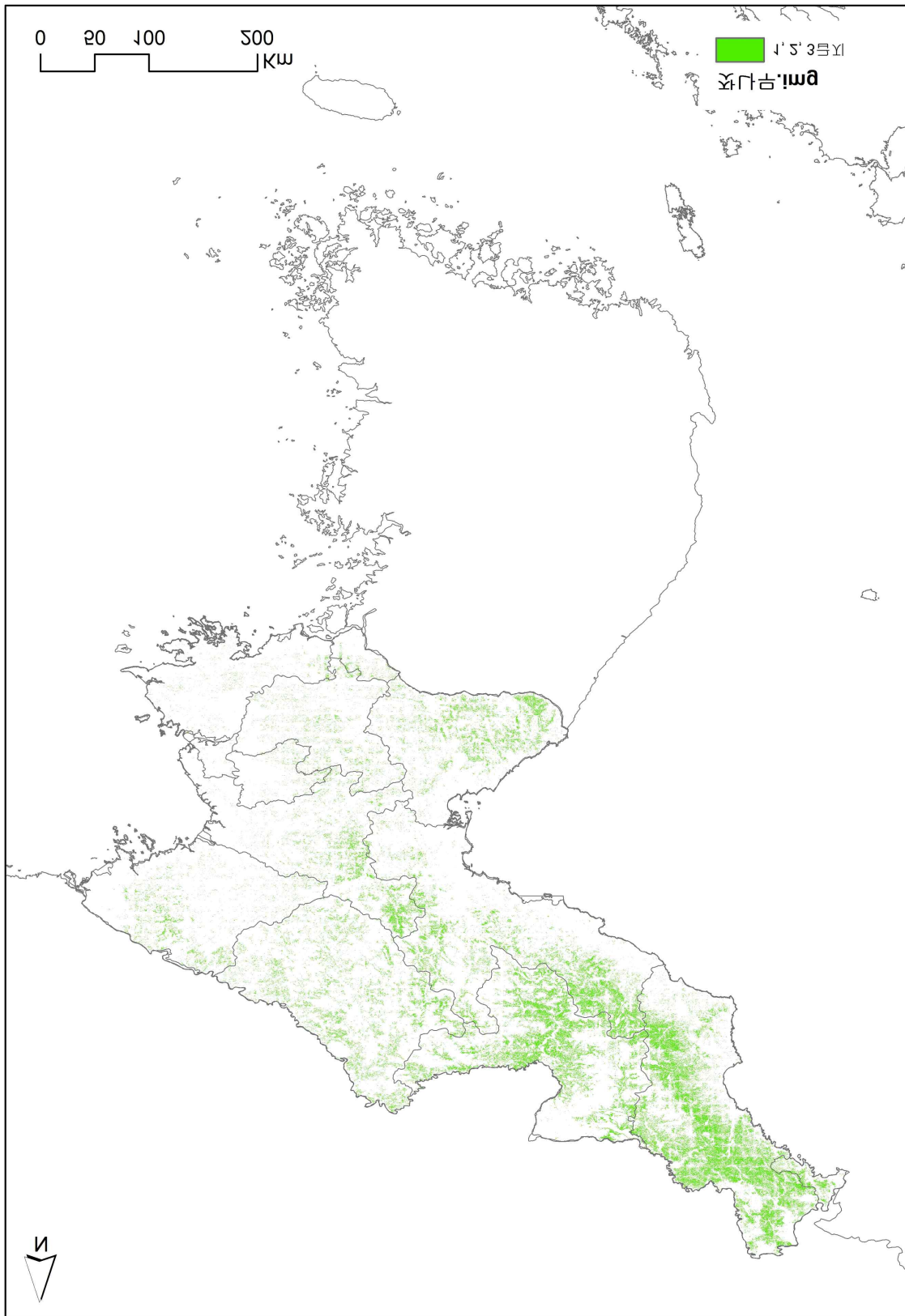


그림 71 잣나무의 무림목지상 1, 2, 3급지 분포

2) 산간나지

작년도 과업에서 분류한 산간나지는 “황폐화가 지속되어 지피 식생이 없이 토양 침식이 지속되고 있는 민둥산”을 의미한다. 즉, 이들 산간나지에는 토양 침식을 방지하기 위한 사방 사업을 선행한 후, 입지 조건에 따라 수종을 선택하여 조림을 진행해야 한다. 따라서 고도, 경사 및 방위 등 토양 침식율에 영향을 미치는 지형 인자별로 사방 사업의 종류를 결정하고, 고도가 낮은 지역에는 아까시나무, 오리나무, 리기다소나무 등의 사방 수종이나 소나무 및 신갈나무 등 척박지에서 잘 견디는 수종을, 고도가 높은 지역에는 초본류를 우선 파종한 뒤 오리나무 및 자작나무 등 고산지에서 잘 견디는 사방 수종이나 잎갈나무 및 삼송류 등의 고산 수종을 조림하는 것을 원칙으로 하였다(표 41).

표 41 산간나지의 입지 기준에 따른 적정 조림수종

입지 기준	복구 사업	적정 조림수종
고도 1000m 미만, 경사 30° 미만(북향)	일반조림	사방 수종(아까시나무, 오리나무, 리기다소나무) 및 척박지에서 잘 견디는 자생 수종(소나무, 신갈나무) 등 식재
고도 1000m 미만, 경사 30° 미만(남향)	일반사방	
고도 1000m 미만, 경사 30° 이상(북향)	일반사방	
고도 1000m 미만, 경사 30° 이상(남향)	특수사방	
고도 1000m 이상	사방조림	초본류 파종, 사방 수종(오리나무, 자작나무) 및 고산 수종(잎갈나무, 삼송류) 등 식재

북한의 산간나지는 1.7만ha로 그 면적이 아주 낮게 나타났는데 이중 함경북도 0.5만ha, 양강도 0.4만ha, 함경남도 0.3만ha, 강원도 0.2만ha, 평안남도, 평안북도, 황해북도가 각각 0.1만 ha로 함경도 지역에 많이 나타나고 있다.

산간나지 조림 수종인 리기다소나무의 조림 대상지는 평안북도와 자강도에 소면적이 있고, 소나무 조림대상지는 자강도와 평안북도에 주로 나타나고 평안남도, 강원도 등에도 일부 나타난다. 신갈나무 조림 대상지는 자강도에 주로 나타나고 양강도, 함경남도 산악지에도 일부 포함된다. 아까시나무는 평안북도와 자강도 저지대가 조림 대상이 되고, 자작나무 조림 대상지는 자강도에 주로 나타나고 양강도, 함경남도 고원지대가 일부 포함된다.

그림 72 북한의 산간나지 분포

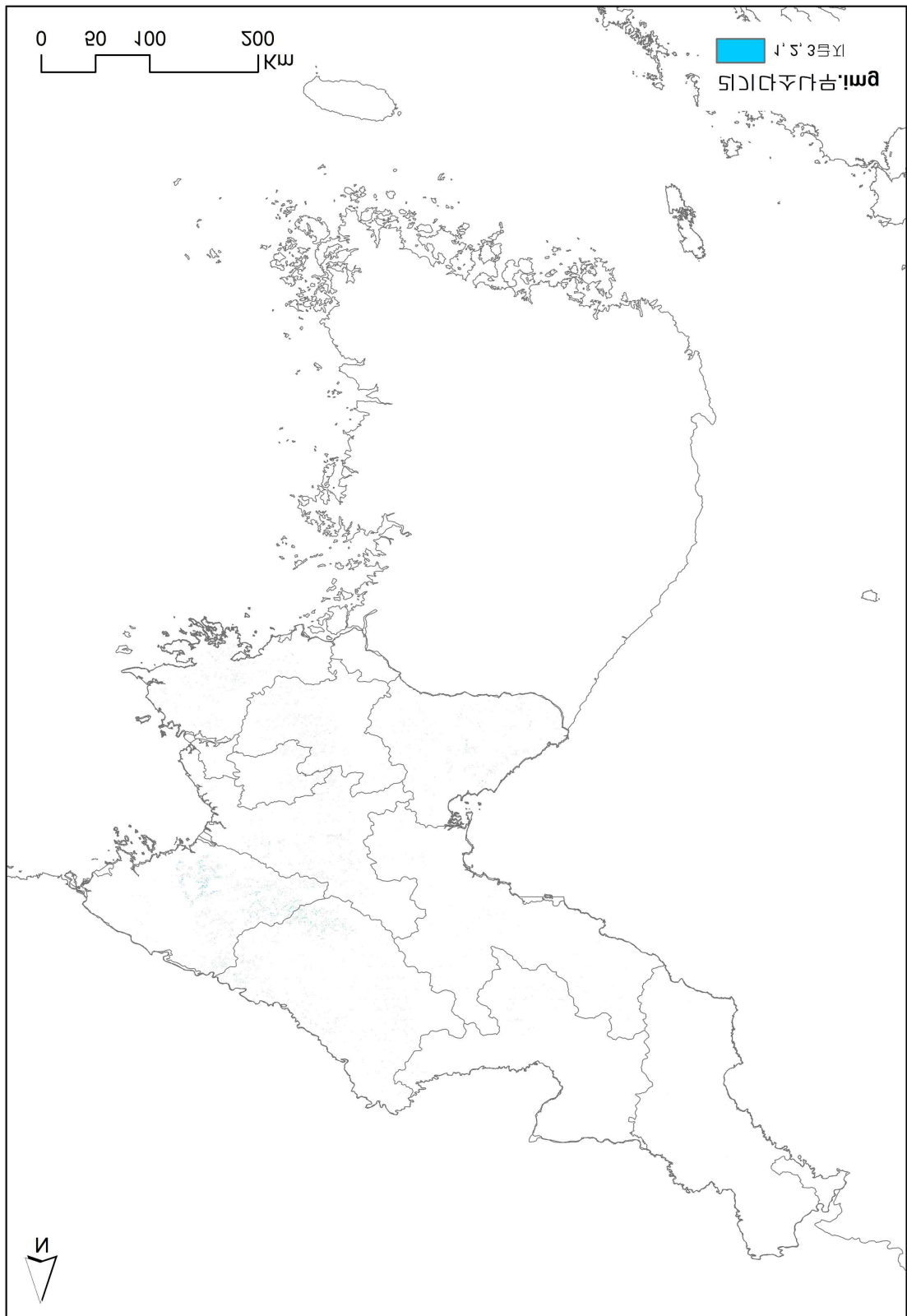


그림 73 리기다소나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포

그림 74 소나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포

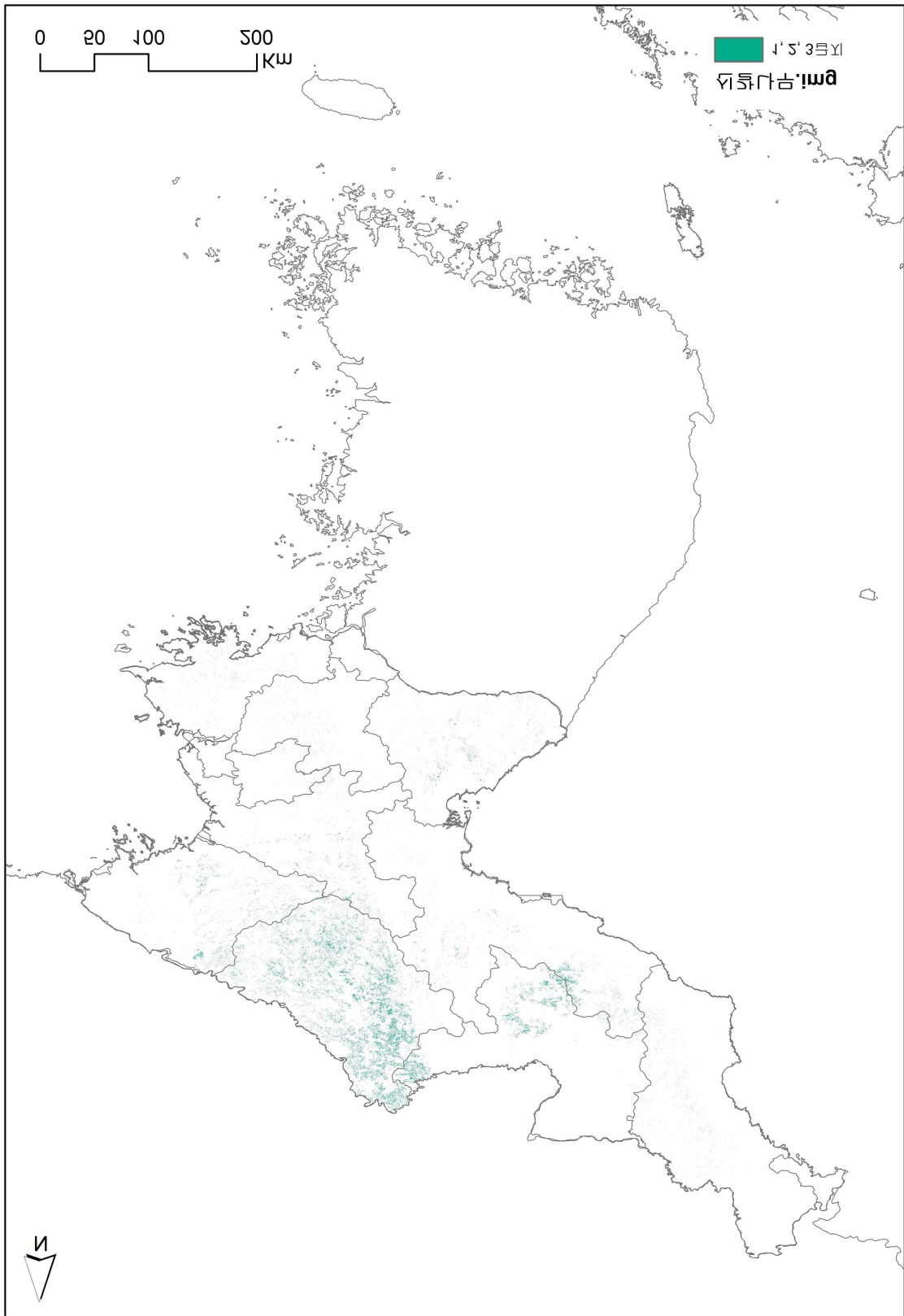


그림 75 신갈나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포

그림 76 아까시나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포

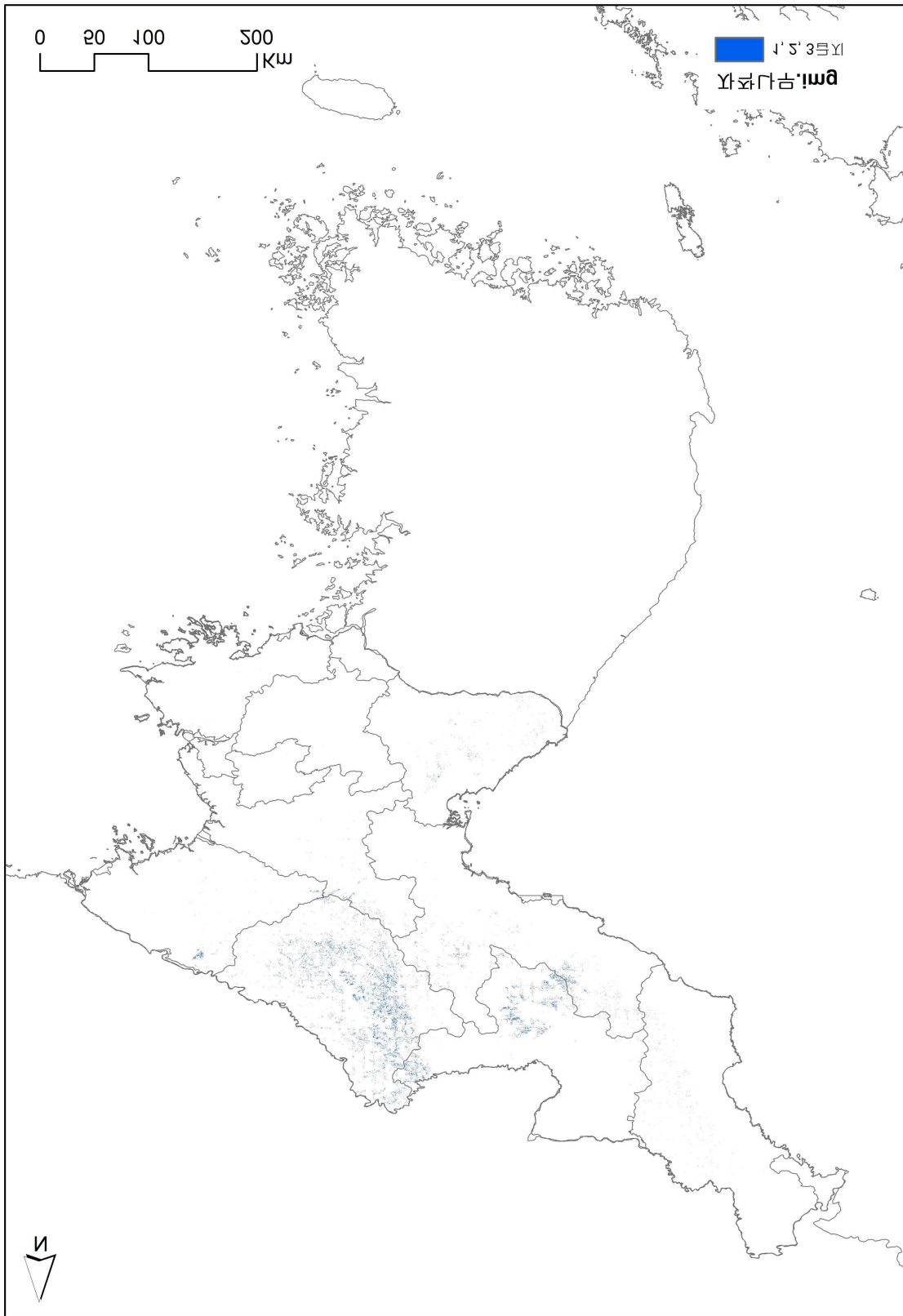


그림 77 자작나무의 산간나지상 1, 2, 3급지 분포

3) 개간산지

작년도 과업에서는 개간산지를 “산림을 개간하여 농작물을 재배하는 비탈밭 형태의 한계농지”로 정의하였다. 그런데 북한 당국은 이들 개간산지를 단순히 임목지로 전환하는 것이 아닌, 농업과 임업을 혼합한 “임농복합경영”을 도입하여 기존의 식량 생산 기능을 유지시킴과 동시에 조림을 하는 것을 목표로 하고 있다(Xu et al., 2011). 따라서 이들 개간산지를 대상으로 임농복합경영을 적용하는 것을 복구 원칙으로 하였다(표 42). 그런데 임농복합경영에 활용할 수종 선발에는 입지 조건뿐만 아니라 해당 임농복합경영지의 생산 목적을 고려해야 하므로, 각 임농복합경영지의 생산 목적에 맞는 수종을 선택하는 것을 기준으로 하였다.

표 42 개간산지의 복구 목적에 따른 적정 조림수종

복구 사업	목적	적정 조림수종
임농복합경영	용재 생산	잎갈나무, 일본잎갈나무, 소나무, 참나무류 등
	섬유 및 종이 생산	분비나무, 가문비나무, 종비나무, 전나무, 포플러 등
	기름 및 과일 생산	잣나무, 밤나무, 기름밤나무, 가래나무, 쉬나무 등
	연료 생산 및 지력 보호	아까시나무, 오리나무 등

북한의 개간산지는 34.6만ha로 고산지역을 제외한 전 지역에 분포하고 있는데 함경남도 4.9만ha, 강원도, 자강도, 양강도가 각각 4.2만ha, 황해북도 3.6만ha, 이외 지역은 2.7만~2.9만ha를 차지하고 있다.

그림 78 북한의 개간산지 분포

제 4 장 목표 달성도

4.1 산지토양정보 고도화 목표달성도

본 연구 중 “산지토양정보 고도화”의 최종 목표는 향후 통일 또는 남북 관계의 개선 등의 이유로 북한에 대한 조림 지원시 적정 수종 선정에 필요한 정보인 토양자료를 제공하는 것이다. 연구진들 간의 협의를 통해, 적정 조림 수종에 필요한 토양 정보는 토양형, 토성, 토심, 유기물량, 토양수분, 견밀도였다. 이를 위하여 본 연구에서는 2015년 개발한 북한의 산지토양정보 예측 알고리즘(한국임업진흥원, 2015)을 보다 더 고도화, 정교화 하는데 주력하였다.

본 연구의 “산지토양정보 고도화” 범위는 2015년 연구에 이은 2년차 연구라고 할 수 있다. 이를 위한 세부적으로는 산림토양인자 추출과 토양도 작성을 위한 알고리즘 개선을 지속적으로 수행하면서, 이를 위한 토양자료 구득 및 상관성 규명, 현장조사와 알고리즘 개선을 위한 모형 연구를 수행함으로써 알고리즘을 보완함으로써, 토양정보와 주제도를 도출하는 것을 목표로 하였다. 연구 과정 중 북한 주변의 정세 악화로, 북-중 접경지대 현지조사와 자료구득을 수행하지 못한 문제가 있었으나, 향후 정세의 변화 시 진행되지 못한 부분에 대한 수행을 위해서 네트워크 구축 활동을 지속적으로 진행하였다.

연구 결과, 북한의 조림수종 선정에 활용될 수 있는 북한의 토양형, 토성, 토심, 유기물량, 토양수분, 견밀도에 대한 토양정보와 주제도를 구축 완료하였다. 북-중 접경지대 자료가 충분치 않고, 북-중 현지조사가 불가능하여 북한 북부의 산림토양정보의 정확성은 높지 않다고 판단하나, 산지토양 전문가 자문회의 결과, 관련 전문가들은 북한에 대한 조림 지원 사업뿐만 아니라, 산림 재난 방지, 임농 복합 경영 지원 등 다방면에서 활용이 가능할 것이라 평가하였다.

표 43 “산지토양정보 고도화”의 기간별 연구 목표, 주요 내용, 달성도

	기간별 연구 목표	주요 내용	달성도(%)
1	산림토양인자 추출과 토양도 작성을 위한 알고리즘 개선	<ul style="list-style-type: none"> - 기 개발된 알고리즘의 정교화 · 기존 토양형 도출결과의 정확도 개선 실시 · 토양형 외의 추가 토양정보 도출 : 토성, 토심, 유기물량, 토양수분, 건밀도 - 환경자료, 토양조사 등의 결과를 활용한 알고리즘의 지속적 개선 	100
2	북한과 북한 접경지역의 환경자료와 토양과의 상관성 규명	<ul style="list-style-type: none"> - 북-중 접경지대 환경자료 구득 및 분석을 통한 북한 북부지역 토양 및 환경자료 구득 · 북-중 접경지대 토양관련 문헌조사 및 분석 · 북-중 접경지대 토양도 및 환경 주제도 구득은 현재 정세 및 반출 금지 조치로 실패하였음 - 휴전선 인근 환경자료 구득 및 분석을 통한 북한 북부지역 토양 및 환경자료 구득 · 1:5,000 산림입지토양도 및 1:25,000 산림입지토양도 분석결과 1:25,000 산림입지토양도가 북한 산림토양 예측에 더 활용도가 높음을 확인 	90
3	현장조사를 통한 북한 산지토양정보 예측 알고리즘 정교화 및 개선방향 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 북-중 접경지대 현지조사 : 실패 · 현 정세로 인한 중국 당국의 접근 불허 · 현 정세가 해결되어야 현지조사가 가능할 것으로 예상되며, 공식적인 공동연구과제의 발족이 필수적임 - 휴전선 인근 현지조사 · 총 3회 실시 : 토양시료채취, 지형분석 정확도 측량 · 분석 진행 : 유기물량, 수분함량 등의 자료를 알고리즘에 반영 - 동적모형을 활용한 알고리즘 정교화 · 토심예측 보정 : RUSLE를 이용한 보정 진행 · 유기물예측 관련 보정방안 검토(추가 계획) 	90
4	북한의 산지이용 특성을 고려한 침식특성 및 토양특성 지도화	<ul style="list-style-type: none"> - 도면 도출 : 토양형, 토성, 토심, 유기물량, 토양수분, 건밀도 	100
5	자료 정리 및 보고서 작성	<ul style="list-style-type: none"> - 2016년 11월 30일 본 과제의 연구 종료 일정에 맞춰 최종 보고서 제출 	100

4.2 적정 조림 수종 고도화 목표달성도

본 연구의 두 번째 목표인 “북한 내 산림 복구에 적합한 조림 수종을 목록화 하여 주제도를 구축하는 것”을 달성하기 위하여, 적정 조림 수종을 선발하여 목록으로 작성하였다(표 44). 특히 북한의 자연 조건, 사회경제적 요구도, 실제 대북 지원 가능 여부, 용도별 수종 목록 등에 관한 기존 자료를 조사하여 적정 조림 수종 선발 기준을 수립하였다. 그리고 이러한 적정 조림 수종 선발 기준에 따라 총 23종의 적정 조림 수종을 선발하고 목록화 하였다.

수종 분포 및 임목 생장에 영향을 미치는 지형(고도, 경사, 방위, 지형 등), 기후(기후대), 토양(토심, 전밀도, 습도, 유기물, 모암, 토성) 조건 등 총 11개 인자를 조림 적지 선정의 기준으로 삼고, 각 인자를 3-5개로 등급화하여 적지 선정 지표로 전환하였다. 이 때 각 수종별로 등급화에 차등을 두어 생리생태적 특성 차이를 반영하였다.

적지 선정 지표에 따라 각 수종을 공간적으로 배치하기 위한 조림 기준을 설정하였다. 특히 환경 조건이 수종별 최적 생육 조건에 비해 과도하게 미흡하면 조림이 불가능하다는 점을 고려하여, 점수 합계가 30점보다 낮거나 최하 점수(1점)인 지표가 1개 이상 있으면 조림 적지 선정에서 제외하였다. 그리고 30점 보다 점수 합계가 높고 최하 점수인 지표가 없는 곳은 등급 점수 합계(최고 55점)에 따라 5개 급지로 구분하고, 가장 점수 합계가 높은 급지(1급지 및 2급지)를 조림 적지로 선정하는 기준을 수립하였다.

서울대학교(1세부)에서 도출한 토양 예측 자료, WorldClim에서 배포하는 연평균기온 자료, USGS에서 배포하는 DEM 자료 등을 수집하여 각 적지 선정 지표에 대한 공간 자료로 활용하였다. 즉, 이들 공간 자료를 적지 선정 지표 등급 기준에 따라 재분류하여 인자별 등급 점수 자료로 전환한 뒤 중첩하여 등급 점수 합계에 대한 공간 자료로 만들고, 등급 점수 합계 및 조림 기준에 따라 각 수종별 조림 적지로 표현하였다. 이러한 과정을 거쳐 총 23개 적정 조림 수종에 대한 조림 적지 도면을 작성하였다.

한편 각 수종별 조림 적지 도면을 중첩하여 공간 자료로 재구축하고, 이를 사용하여 도별 적정 조림 수종 목록표를 작성하였다. 나아가 작년도 과업 결과인 북한 황폐지 구분 공간 자료와 각 수종별 조림 적지 공간 자료를 연계하여 황폐지 구분별(무림목지, 산간나지, 개간산지) 복구에 적합한 수종을 제시하고, 공간 자료화 하였다.

표 44 본 연구의 목표 달성도

	기간별 연구 목표	주요 내용	달성도(%)
6	<ul style="list-style-type: none"> ● 적정 조립수종 선발 인자 도출 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 자료를 수집하여 북한의 자연 조건, 사회경제적 요구도, 실제 지원 가능 여부 등을 반영할 수 있는 적정 조립 수종 선발 기준을 마련함 - 지형 인자, 기후 인자, 토양 인자 등 각 수종의 생리생태적 특성과 북한의 입지 조건을 반영할 수 있는 인자들을 적지 선정 지표로 이용함 	100
7	<ul style="list-style-type: none"> ● 공간자료 작성 알고리즘 및 시각화 방법론 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 각 수종별로 적지 선정 지표를 등급 점수로 전환하여 조립 기준으로 활용 가능하게 함 - 각 인자별 공간 자료를 중첩하여 수종별 조립 적지를 공간 자료로 시각화 하는 방법론을 개발함 	100
8	<ul style="list-style-type: none"> ● 위성영상 및 기타 공간 자료 수집 및 가공 	<ul style="list-style-type: none"> - 서울대학교 연구진(1세부) 도출 토양자료, WorldClim 배포 기온자료, USGS 배포 DEM 자료를 적지 선정 지표의 공간 자료 작성에 활용함 - 작년도 과업에서 도출한 북한 황폐지 구분 자료를 황폐지 복구용 수종 도출에 활용함 	100
9	<ul style="list-style-type: none"> ● 적정 조립수종 선발 및 주제도 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 적정 조립수종 선발 기준에 근거하여 총 23개의 적정 조립 수종을 선발하고 목록화 함 - 지형, 기후, 토양 인자를 포함하는 총 11개 인자를 적지 선정 지표로 삼아, 3-5개 등급화를 진행함 - 각 조립 수종에 대한 조립 적지 도면을 작성함 - 수종별 조립 적지 도면을 응용하여 조립 적지 중첩 도면, 도별 적정 조립 수종 목록표, 황폐지 조립 도면 등을 작성함 	100

제 5 장 연구개발결과의 활용 방안

5.1 산지토양정보 고도화 연구개발결과의 활용 방안

본 연구를 통해서 확보된 북한의 산지토양정보와 그 주제도는 북한의 산림조립지원과 산사태 방지를 위한 사방공사, 임농복합경영(Agroforestry)과 같은 지속가능한 산림의 이용에 있어서 토양정보 제공에 활용될 수 있다. 또한 앞으로 통일 또는 남북관계 개선으로 북한에 대한 산림토양 조사사업을 진행할 때, 시간과 비용을 절약할 수 있는 기초자료로서 활용될 수 있다.

뿐만 아니라, 본 연구에서 개발된 토양예측 알고리즘은 토양도 및 산림입지토양도 구축이 진행되지 않은 개발도상국이나, 기존의 토양조사 방법으로는 많은 비용이 드는 인구대비국도가 광대한 국가와의 협력 사업에 활용될 바 있으며 향후 이와 관련된 해외 진출에 적극 활용할 수 있다. 또한 현재 조사·구축중인 1:5,000 산림입지토양도의 정확도 개선을 위한 방법으로 활용할 수도 있다.

본 연구에 대한 지속적인 개선과 추가 사업은 이러한 활용성을 높여나갈 수 있을 것으로 기대되며 그 내용은 아래와 같다.

5.1.1 현장조사를 통한 북한토양예측 개선 지속 추진

현재 토양속성은 기존의 자료와 전문가 의견에 의존하고 있기 때문에, 예측시스템의 분류정확도와 필요한 속성정보를 추출하는데 있어 제약이 있다. 2016년 연구를 통해 북한 남부와 토양형성 조건이 유사한 남한 일대에 대한 토양샘플링은 일부 진행하였으나, 북한 북부의 경우에는 중국과 북한과 관련된 정세로 인해 진행되지 못한 문제가 있다. 추후 연구에서는 대표사면 또는 유역을 선정하여 집중적인 토양샘플링을 진행할 필요가 있으며, 특히 북-중 접경지대의 알고리즘을 검증할 필요가 있다. 현재 한국임업진흥원에서 진행하고 있는 1:5,000 산림입지도토양도 작업과 연계하여 알고리즘의 효율성과 정확성을 평가하는 작업이 필요하다.

이 사업은 보다 더 정밀한 북한토양예측 결과를 도출할 수 있으며, 이를 바탕으로 북한 산림정보 구축 및 조립 지원 정보로 활용이 용이할 것으로 기대할 수 있다. 현재 1:25,000 수준(30m 해상도)인 토양예측 정보의 축적을 높인다면, 북한에 대한 조립 지원시 보다 구체

적인 지원 수준과 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 1:5,000 산림입지도 양도 구축 현장 조사와 함께 진행된다면, 이에 대한 기술적인 기여 또한 가능할 것으로 보인다. 뿐만 아니라 보다 더 정교화된 알고리즘을 바탕으로 해외 산림조사 사업 개발협력 사업에 응용할 수도 있다.

5.1.2 알고리즘 자동화 및 북한공간정보시스템 구축

본 연구에서 기초 자료로 사용하는 공간환경정보(수치고도모형, 위성영상, 토양도 등)는 그 종류와 용량이 광범위해서 데이터 가공 및 분석에 많은 시간이 소요된다. 뿐만 아니라 본 연구에서 사용하는 알고리즘 기법은 상용 GIS소프트웨어(ArcGIS 등)의 방법과는 다른 방법을 사용해야하기 때문에 최적화되지 않은 전문 프로그램을 사용할 수밖에 없다는 한계가 있다. 이 전문 프로그램들은 사용법이 복잡하고 큰 용량을 지원하지 않아, 데이터를 잘게 나누어 분석을 진행해야 하며, 이 때문에 인력 및 시간이 많이 소요될 뿐 아니라 그 과정에서 발생하는 오류 또한 상당한 실정이다. 따라서 인력 및 시간소요를 줄이고, 오류를 해결하기 위해서, 그리고 장기적으로는 북한공간정보시스템과 의사결정시스템으로서의 발전을 위해서 알고리즘 자동화가 필요하다(그림 79).

만약 이 방향으로 사업이 확장된다면, 현재 본 예측에 들어가는 시간 및 인력이 4분의 1 수준으로 절감될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이 방법을 이용하여 토양 뿐 아니라 다른 여러 분야 관련 전문가들이 이 도구를 사용하여 새로운 공간정보를 도출할 수도 있다. 뿐만 아니라 추후 더 정밀한 정보가 등장하였을 때 큰 노력을 기울이지 않고도 토양예측의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

북한 산림토양 관련
공간환경정보 수집

알고리즘 자동화
체계 구축

효율적이고
정확도 높은 결과 도출

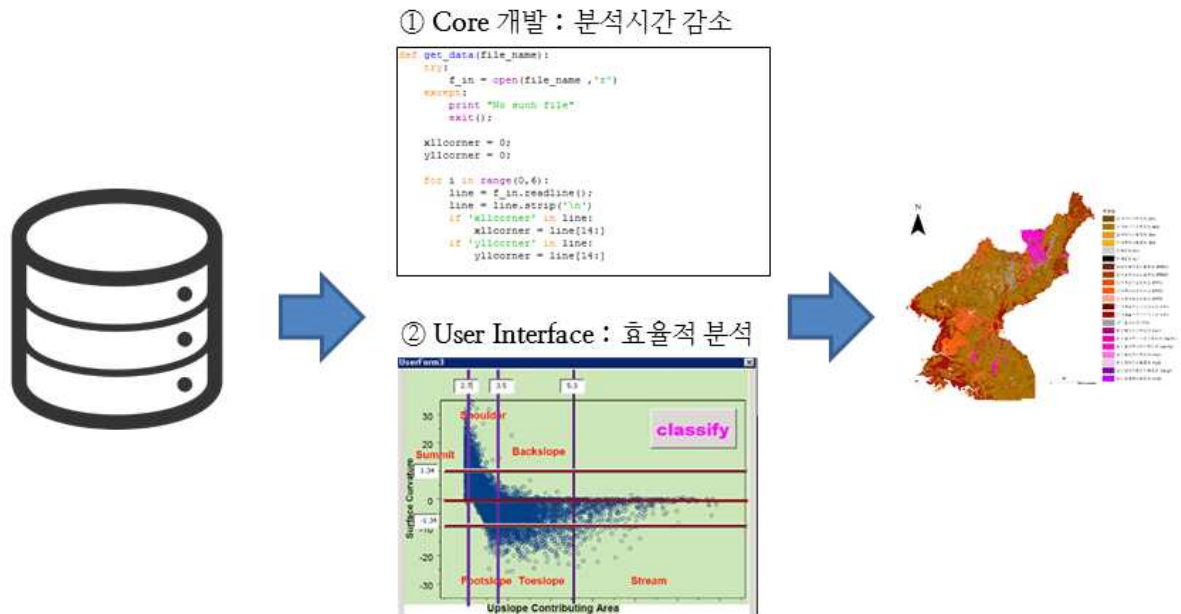


그림 79 알고리즘 자동화 및 북한토양정보시스템 모식도

5.1.3 북-중 토양정보 수집을 위한 한-중 협력 연구

본 연구에서 가장 장벽에 부딪혔던 문제는 중국 정부에서 만든 북-중 접경지대 공간정보에 대한 활용이 원칙적으로 불가능했다는 점이다. 남한과는 토양형성 환경조건이 다른 북한 북부의 토양정보를 예측하기 위해서는 북-중 접경지대의 토양자료 및 환경자료가 필요하였다. 하지만 중국의 관계 법령으로는, 중국 정부 당국에서 만든 지형도, 토양도, 지질도 같은 주제도 및 환경 공간 정보는 모두 기밀로 분류되어 외국인¹⁴⁾이 열람, 반출할 수 없다는 문제가 있었다. 단, 공식적인 공동 연구를 조건으로 중국 내에서 분석을 진행하고 이것이 학술지에 등재되는 경우, 분석이 진행된 2차 자료는 반출이 가능하다는 것을 확인하였다.

뿐만 아니라 현 정세로 인한 북-중 접경지대 접근 차단으로 현장조사가 난항을 겪는다는 것 또한 문제였다. 남한에서 관찰되지 않은 포드졸(성) 토양 및 냉대지역 산림토양을 관찰하기 위해서는 북-중 접경지대에 대한 접근이 필요하지만, 최근 정세변화에 따라 북-중 접경지대에 한국 국적자 출입이 제한되고 있으며 장기화 될 것으로 보인다.

이러한 난항을 극복하기 위해서는 북-중 토양정보 수집을 위한 한-중 협력 연구가 필요한 실정이다. 물론 현 정세상 북-중 토양정보 수집을 직접적인 목적으로 연구를 수행하는 것은 중국 측을 자극시킬 수 있다. 따라서 “산림토양 예측기법 개발 및 고도화를 위한 한-

14) 이 때 외국인은 외국 기관 소속의 중국인도 포함

중 협력 연구”와 같은 산림자원조사와 관련된 기술협력 연구로서 연구를 진행하고, 연구 장소를 북-중 접경지대로 선정한다면 관련 목적을 달성할 수 있을 뿐 아니라, 중국과의 협력 및 해외 진출의 교두보 확보라는 부수적인 효과도 얻을 수 있다. 현재 북-중 접경지대에 대한 자료를 많이 구득하고 있으며, 이에 대한 연구경험을 보유하고 있는 연변대학교 지리학과에서 이 부분에 적극적이며, 이를 활용하여 연구를 진행할 수 있을 것으로 기대된다.

5.1.4 한국 산림토양 분류체계의 개선

현재 한국의 산림토양분류체계는 일본의 산림토양 분류체계를 바탕으로 한국의 환경에 적용한 분류체계이다. 이는 남한의 산림토양 형성 조건을 반영한 것으로, 북한 남부까지는 적용할 수 있을 것으로 보이지만, 북한 북부 지역의 산림토양 환경조건을 반영하기는 어려울 것으로 보인다. 특히 북한 북부에 존재한다고 알려진 포드졸성 산림토양을 포괄하기는 어려운 실정이다. 또한 향후 중국 및 타 국가와의 산림토양 자원조사 및 협력시, 타국에서 사용하고 있는 국제토양 분류체계(FAO체계 또는 USDA체계)로의 호환방안 마련 또는 변환이 필요한 실정이다.

따라서 한국 산림토양 분류체계가 북한의 환경을 반영하도록, 그리고 국제표준 체계를 반영하도록 개선된다면, 다양한 산림입지토양정보를 반영함으로써 산림자원관리가 효율화될 것으로 기대된다. 또한 해외의 산림토양정보와의 호환성 증대를 바탕으로 한 정보공유 및 해외진출이 용이할 것으로 기대된다.

5.2 적정조림수종 연구개발결과의 활용 방안

본 연구를 통하여 선발한 적정 조림 수종은 북한의 산림 복구를 지원하는데 기초 자료로 활용 가능하다. 특히 본 연구에서 작성한 적정 조림 수종 목록은 북한의 산림을 복구하는 것에 필요한 수종을 미리 파악하여, 향후 지원에 필요한 묘목 및 종자를 확보하는 근거로 활용할 수 있다. 그리고 각 도별로 조림에 활용 가능한 수종을 목록화 하여 북한에 대한 종자 및 묘목 확보와 조림 지원이 필요한 수종을 지역별로 선택하는데 필요한 기초 자료를 제공하였다.

또한 본 연구에서 구축한 수종별로 조림 적지 공간 자료화 및 도면은 북한의 입지 조건에 최적화된 조림 전략을 수립하는 것에 활용할 수 있다. 특히 주요 수종의 조림 적지를 중첩하여 만든 조림 적지 중첩 도면 및 데이터베이스는 북한에서 조림 수종을 선택하는 의사

결정을 지원하는 것에 유용한 근거 자료로 이용 가능할 것이다. 그리고 수종별 조림 기준 (단위면적 당 식재 묘목 본수 기준 등)과 연계하여 조림에 필요한 묘목 및 종자량을 미리 산출하고, 이를 바탕으로 수종별로 대북 지원에 필요한 묘목 및 종자 비축량을 결정하는 것에 활용 가능할 것이다.

한편 작년도 과업 결과와 연계하여 작성한 황폐지 복구 조림 수종 목록 및 도면은 북한 내 황폐화된 산림을 복구하기 위한 조림 전략을 수립하는 것을 지원하는 기초 자료로 활용 가능할 것이다. 특히 황폐지 분류별로 제시한 적정 조림 수종 목록은 북한의 황폐지 복구 전략을 선택하는 의사 결정에 근거 자료로 활용 가능할 것이다.

제 6 장 참고문헌

- 공우석, 김건옥, 이슬기, 박희나, 조수현. 2014. 한반도 주요 산정의 식물종 분포와 기후변화 취약종. 환경영향평가 23: 119-136.
- 국립산림과학원 2004. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종 연구자료. 제232호
- 국립산림과학원 2005. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종(II). 연구자료. 제252호
- 국립산림과학원 2006. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종(III). 연구자료. 제275호
- 국립산림과학원 2007. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종(IV) 연구자료. 제306호
- 국립산림과학원¹⁾. 2007. 한국의 유용수종 연구신서. 제 21호
- 국립산림과학원. 2008. 한국산림정보시스템 구축을 위한 산림입지도(1:5000) 제작 보고서.
- 국립산림과학원 2009. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종(VI) 연구자료. 제367호
- 국립산림과학원¹⁾, 2009. 적지적수역사와 그 활용연구. 연구보고 09-01
- 국립산림과학원. 2011. 북한의 산림·임업동향 및 주요수종(VIII) 연구자료. 제367호
- 국립산림과학원, 2011, 산림입지도양도(1:5,000) 제작 표준메뉴얼, 국립산림과학원
- 국립수목원. 2015. 2015 기후변화 취약 산림식물종 보전·적응사업 보고서. 국립수목원 3-4.
- 류인수, 2000, 북한의 토양과 특성, 한국토양비료학회 심포지움 자료집 2000(단일호), 1-38.
- 류인수, 2008, 북한의 토양비료 연구, 한국토양비료학회 학회창립 40주년 기념 심포지움, 45-53
- 박수진. 2004. 생태환경 특성 파악을 위한 지형분류기법의 개발. 대한지리학회지, 39(4), 495-513.
- 박수진, 2009, 한반도 평탄지의 유형분류와 형성과정, 대한지리학회지, 44(1), 31-55.
- 박수진, 2014, 한반도 지형의 일반성과 특수성, 그리고 지속가능성, 대한지리학회지, 49(5), 656-674.
- 변정균. 2014. 조선민주주의인민공화국에서 산림의 변화와 그 회복을 위한 능력 강화. International Workshop on Restoration of Degraded Forests and Sustainable Forest Managment, Simyang.
- 변종민·성영배, 2015, 인류세 이전 토양생성률과 20세기 후반 토양유실률 비교를 통한 토양경관 지속가능성 전망, 대한지리학회지, 50(2), 165-183.
- 산림자원조사연구소. 1976. 전국간이산림토양 조사보고서.
- 산림청. 2015. 임업통계연보. 산림청.
- 산림청. 2016. 남북 산림 협력 참고자료집. 산림청.

- 산림청. 2016. 북한 주요수종의 이해. 산림청.
- 이진규, 이성연. 1992. 북한임업연구, 임업연구원
- 안성룡 · 박성철 · 김창옥 (편), 1987, 조선지리전서(토양지리), (북한)교육도서출판사
- 안유순, 2013, 다행위자시스템(Multi-Agent System)을 이용한 북한 토지황폐화의 모형구축 및 분석, 서울대학교 지리학과 석사학위 논문.
- 유재심, 2014, 북한 산림경관 생태적 복원모형 개발, 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.
- 이수연 · 정관용 · 박수진, 2015, 산사태 발생예측을 위한 지형분류기법의 비교평가, 대한지리학회지, 50(5), 485-503
- 이아름 · 이 궁 · 손요환 · 김래현 · 김춘식 · 박관수 · 이경학 · 이명중, 2010, 해외 산림토양탄소모델 분석을 통한 한국형 모델 개발방안 연구, 한국임학회지 99권 6호 791-801
- 임상철, 1995, 생존전략의 다락발건설 황경과괴의 주범인가, 북한, 278, 68-75.
- 정관용, 2011, 지형분류를 통한 산지토양특성의 예측가능성, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
- 정승규 · 박종훈 · 박종화 · 이동근, 2016, MODIS 다중시기 영상을 이용한 북한 다락발 분류, 한국환경복원기술학회지, 19(1), 73-83.
- 한국과학기술한림원. 2015. 북한 산림생태 및 환경변화에 적합한 조림수종 선정 연구보고서.
- 한국임업진흥원, 2010, 인공위성영상을 이용한 북한 산림현황 분석사업 보고서, 한국임업진흥원
- 홍순의, 1989, 조선자연지리(지리학부용), (북한)김일성종합대학출판사.
- UNEP. 2004. 북한 환경생태보고서 2003
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., 2014, RothC-A model for the turnover of carbon in soil, Model description and users guide
- De Vos, B., Van Meivenne, M., Quataert, P., Deckers, j., and Muys, B., 2005, Predictive Quality of Pedotransfer Functions for Estimating bulk Density of Soils, Soil Science Society of America Journal
- Deng, Y. and Wilson, J., 2006, The Role of Attribute Selection in GIS Representations of the Biophysical Environment, Annals of the Association of American Geographers, 96(1), 47-63
- Dragut, L. and Blaschke, T., 2006, Automated Classification of Landform Elements Using Object-based Image Analysis, Geomorphology, 81(3-4), 330-344

- Franz Rubel, Markus Kottek. 2010. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Koppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19: 135-141.
- Gerçek, D., 2010, Object-based Classification of Landforms based on Their Local Geometry and Geomorphometric Context, Ph. D. Thesis Middle East Technical Univerisyt(Turkey)
- Hay, G. and Castilla, G., 2006, Object-based Image Analysis : Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats(SWOT), *Intenational Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(4)
- Hong, S.Y., Minasny, B., Han, K.H., Kim, Y., Lee, K., 2013, Predicting and mapping soil available water capacity in Korea, *PeerJ*, 1, e71
- Irvin, B. J., Ventura, S. J., and Slater, B. K., 1997, Fuzzy and Isodata Classification of Landform Elements from Digital Terrain Data in Pleasant Valley, Wisconsin, *Geoderma*, 77(2-4), 137-154
- Jenkerson, C., Maierperger, T., Schmidt, G., 2010. eMODIS: a User-Friendly Data Source, U.S. Geological Survey
- Minar, J. and Evans, I. S., 2008, Elementary Forms for Land Surface Segmentation : the Theoretical Basis of Terrain Analysis and Geomorphological Mapping, *Geomorphology*, 95(3-4), 236-259
- Park, S.J., K. McSweeney and B. Lowery. 2001. Prediction of soils using a process based terrain characterisation, *Geoderma*, 103, 249-272.
- Parton, W.J., 1973, the CENTURY model, Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, USA
- Schmidt, J. and Hewitt, A., 2004, Fuzzy Land Element Classification form DTMs based on Geometry and Terrain Position, *Geoderma*, 121(3-4), 243-256
- Shilian, L., Nannan, A., Juejie, Y., Shikui, D., Cong, W., Yijie, Y., 2015, Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan Province, *Catena*, 133, 137-144
- Sierra, C.A., Muler, M., Trumbore, S.E., 2012. Models of soil organic matter decomposition: the SoilR package, version 1.0, *Geoscientific Model Development*, 5, 1045-1060
- Thompson, J.A., Kolka, R.K., 2005, Soil carbon storage estimation in a forested watershed using quantitative soil-landscape modeling, *Soil Science Society of America Journal*,

69, 1086-1093

Xu, J.C., Kim, K.J., He, J. 2011. Participatory agroforestry development in DPR Korea. ICRSAF.

Zheng, D. L., D. O. Wallin and Z. Q. Hao., 1997, Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea, Landscape Ecol, 12, 241-254.

史学正. 于东升. 孙维侠. 王洪杰. 赵其国. 龚子同, 2004, 中美土壤分类系统的参比基准研究: 土类与美国系统分类土纲间的参比, 科学通报 49(13), 1299-1303.

李象榕, 1980, 国外土壤调查工作动态, 云南农业科技 1(011), 30-36.

于东升. 史学正. 王洪杰. 孙维侠. 杜国华. 龚子同, 2004, 发生分类淋溶土与系统分类参比特征研究, 土壤学报 41(6), 845-853.

张维理. 徐爱国. 张认连. 冀宏杰, 2014, 土壤分类研究回顾与中国土壤分类系统的修编, 中国农业科学 47(16), 3214-3230.

赵济, et al. ,1995, 中国自然地理 (第三版), 高等教育出版社.

朱鹤健. 何宜庚 (編), 1992, 土壤地理学: 高等教育出版社.

陈志成. 龚子同. 张甘霖. 赵文君, 2004, 不同尺度的中国土壤系统分类参比 ①, 土壤 (Soils) 36(6), 584-595.

刘忠杰, 1991. 延边土壤志, 延吉: 延边大学出版社.

<http://www.greenonekorea.or.kr/>

<http://www.peaceforest.or.kr/index.php>

<http://www.tongilnews.com/news>

제 7 장 부록

7.1 장백산 포럼 참가 및 연변대학교 정보 교류

1. 출장 목적

- 「북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정」 과제의 북한 자료 수집 및 회의
- 북한-중국 접경 지역 답사를 통한 수종 현황 파악
- 장백산 포럼 참석 및 발표

1. 수행 내용

- 대한민국에 비해 접근이 용이한 중국 연변대학교의 북한 지역에 대한 연구 전문가와 기존 자료 수준을 확인하고 보완 자료의 존재 유무 확인, 방법론, 북한에서 실제로 필요로 하는 수종 자료 검토
- 북한-중국 접경 지역에서 육안으로 확인이 가능한 식물종 구성, 식생 피복 현황 파악
- 북한 지역에 적용 가능한 방법론을 주제로 장백산 포럼 구두 발표 수행

2. 출장기간 및 출장자

표 45 장백산 포럼 출장 상세 내용

출장기간	출장자	출장지	업무내용
2016. 07. 28 - 2016. 07. 31 (3박 4일)	배 상 원 이 슬 기 김 세 진	중국 연길	· 「북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정」 과제의 북한 자료 수집 및 회의 · 북한-중국 접경 지역 현지 답사 · 장백산 포럼 참석 및 발표

3. 출장 일정

표 46 장백산 포럼 출장 일정

일 자	출발지	도착지	방문기관명	업무수행내용
07월 28일	인천국제공항	연길공항	연변대학교	· 출국 및 학회 등록 · 북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정 과제 회의
07월 29일	-	-	연변대학교	· 장백산 포럼 참석 · 북한-중국 접경 지역 답사
07월 30일	-	-	연변대학교	· 장백산 포럼 구두 발표
07월 31일	연길공항	인천국제공항		· 입국

4. 주요 내용

1) 07월 28일

- 장백산 포럼 학회 등록
- 북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정 과제 회의
 - 회의 진행 식순

표 47 장백산 포럼 일정

시간	세부내용	장소
15:00-15:30	연구진 소개 및 참석자 소개 및 개회	연변대학교
15:30-16:00	북한 산지토양정보 고도화 및 적정 조림수종 선정 과제의 전반적인 발표	
16:00-16:50	정보 공유 및 논의	
16:50-17:00	기념촬영 및 폐회	

- 참석자
 - 연변대학교 : 주위홍, 남영, 최계선
 - 고려대학교 : 이우균, 배상원, 이슬기, 김세진
 - 한스자이텔재단 : 최현아
 - 서울대학교 : 안유순, 김추홍
- 회의 안건
 - ① 기존 자료 확인 사항 및 추가 자료 획득
 - 적지적수 연구 : 현재 생육하는 천연분포(등온선 자료를 이용한 기후대 연구 등), 정책적 요구, 경제성 항목
 - 도입수종 : 스트로브잣나무, 일본이깔나무 등의 수종에 대한 고려가 어떻게 이루어지는 것이 적절한지에 대한 정보
 - 토양 : 2015년 서울대학교 박수진 교수팀의 결과를 바탕으로 확인하고, 보완할 수 있는 자료가 있는지의 여부
 - 수종별 임상 데이터 : 이상적인 것은 한국의 임상도 자료와 유사한 데이터이나, 북한에서 보유한 자료가 없는 것으로 알려져 있음. 따라서 검증 데이터 생성을 위해 사례연구 자료가 필요함. 연구진 내부적으로 언급된 자료는 한스자이텔재단에서 진행 중인 양묘장 결과 데이터, 금강산 조사 자료(배상원 박사님 자료+추가 수집), 생명의 숲 자료, 개성공단 지역 자료 등이 있었음
 - 양묘장에서 취득한 자료의 경우 실제 산림지역에 적용하는 수종에 대한 정보에서 중요하게 다루어지지 않는 관점의 자료가 다수 존재함. 따라서 산림지역에 식재할 수종에 대한 정보를 위주로 수집될 필요가 있음
 - ② 연구 방법론
 - 자연적 인자(기후, 토양 등)와 사회적 인자(정책적 요구, 경제성 등)
 - 북한의 수종분포도, 수종별 연구논문 자료 : 성장패턴, 수종분포가 유사한 수종은 유형별로 구분하고, 주요 수종은 단일 수종을 대상으로 제안하는 방안이 제안됨. 양묘장일꾼참고서 등

의 자료를 바탕으로 특정 지역에 대한 수종별 순위를 작성할 계획임. 이 과정에서 북한 계획 등의 자료를 통해 주요 수종을 선별하는 것이 가능할 것으로 사료됨. 북한 계획 자료를 입수할 수 있는지 확인 필요

- 점수 등급화 + 제한인자(제한 인자 예시 : 인자중 최하점이 2개 항목 이상인 경우 점수화에서 제외하는 등의 방법)
- 입지구분 : 규모화하여 진행할 계획, 스케일 부분은 전반적인 검토가 필요

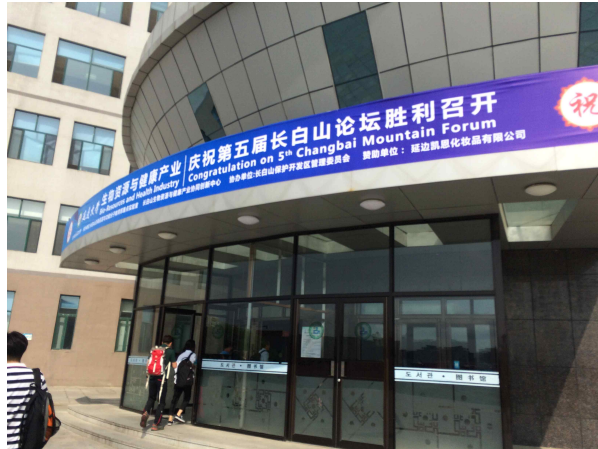
③ 북한에서 실제로 필요로 하는 수요성 있는 수종 자료

- 지역별 자료 또는 남부/중부/북부+서부/중부/동부 자료
- 실제 분포 수종 리스트 또는 위경도 자료
- 지역별 현지에서 요구하는 수종 리스트



2) 07월 29일

○ 장백산 포럼 참석



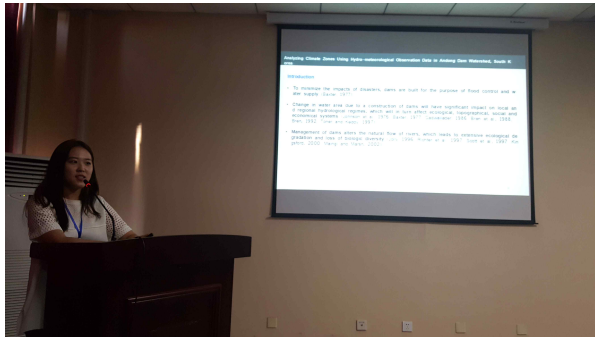
○ 북한-중국 접경 지역에서 육안으로 확인이 가능한 식물종 구성, 식생 피복 현황 파악



3) 07월 30일

○ 장백산 포럼 구두 발표

- 이슬기 : Species distribution modeling between *abies koreana* and *abies nephrolepis* in South Korea(Sle-gee Lee, Woo-Kyun Lee, Hey-Jin Kwon, Jun Gi Byeon, Yun ju Eun, In-Sik Kim)
- 김세진 : Creating Climate Classification Map of Andong Dam Watershed Using Hydro-meteorological Observation Data(Sea Jin Kim, Chul-Hee Lim, Jooyeon Moon, Cholho Song, Woo-Kyun Lee*)



7.2 북한 황폐화 현황 관련 자문

1. 자문 목적

- 본 연구에 참고 가능한 자료 수집
- 북한지역 황폐화 실태 관련 자문

2. 자문 일시 및 장소

- 일시 : 2016년 10월 17일 13:00-16:00
- 장소 : 고려대학교 생명과학대학 서관 312호

3. 자문 참석자

- 연변대학교 : 김석주 교수(연변대학 이학원 지리학과, 연변대학 동북아 연구원)
- 고려대학교 : 손요환 교수, 이우균 교수, 배상원 교수, 최현아 연구원, 이슬기 연구원, 유혜지 연구원, 김성준 연구원

4. 주요 내용

1) 김일성 종합대학 연구 분야

- 김일성 종합대학 주요 산림 관련 연구 분야 및 세부 연구 동향 소개
 - 산림, 토지환경, 수환경, 공기환경과 해양환경
 - 폐수와 폐기물 처리
 - 기후변화
 - 세계 환경 문제

2) 참고 가능한 북한 출판물 관련 논의

- 조선향토대백과
- 광명백과사전(2010)
- 지질 및 지리과학 : 평양과학기술출판사
- 김일성종합대학학보(자연과학) : 김일성종합대학출판사

3) 김일성종합대학에서 주관한 국제학술회의 행사

- 국제학술회의의 주요 주제 및 내용 공유(경제와 금융, 역사, 철학, 법률, 언어학, 문학, 수학, 물리학, 생명과학 분야로 구성)
- 생명과학 분야 발표는 모두 영어로 진행되었고 김일성종합대학의 발표자의 영어 수준은 상당히 높은 것으로 파악되었음. 이를 통해 국제 교류를 위한 인력이 확보되어 있음을 확인할 수 있음

- 중국, 러시아, 독일, 일본 등 100여명이 참가하는 규모이고, 주요 주제에 대한 심도 있는 논의가 이루어짐

4) 북한지역 황폐화 실태 관련 논의

- 내륙지역의 황폐화가 국경 지역보다 심각한 것으로 확인됨. 특히, 석회석, 광산 지역 등은 매우 심각한 수준으로 침출수 유출 등의 문제가 방치되어 더 큰 환경 문제를 야기하고 있음
- 도심지 주변은 주민의 접근성이 좋고 간섭 압력이 높아 황폐화가 많이 진전됨
- 인가가 적은 지역은 상대적으로 황폐화 정도가 심하지 않은 것으로 알려져 있으나, 실제 현황은 땀감과 경작 목적으로 인한 황폐화 수준이 높음
- 나진, 선봉 지역 : 인위적인 피해가 더 큰 것으로 보임. 특히 나진, 선봉 지역이 황폐화가 많이 진행되었다면 다른 지역은 이 지역보다 심각한 황폐화 수준으로 간주할 수 있음



7.3 남북한 국제기구 가입

1. 남북한 국제기구 가입 통계

표 48 남북한 국제기구 가입 통계

구분	남한	북한
un산하·전문·독립기구	26	16
정부간 기구	84	17
계	110	33

2. 남북한 국제기구 가입 시기

표 49 남북한 국제기구 가입 시기 비교

기구명	남한가입	북한가입
국제연합(UN)	1991	1991
제네바군축회의(CD)	1996	1996
유엔식량농업기구(FAO)	1949	1977
국제민간항공기구(ICAO)	1952	1977
국제농업개발기구(IFAD)	1978	1986
국제해사기구(IMO)	1962	1986
국제전기통신연합(ITU)	1952	1975
유엔교육과학문화기구(UNESCO)	1950	1974
유엔공업개발기구(UNIDO)	1967	1980
만국우편연합(UPU)	1949	1974
세계보건기구(WHO)	1949	1973
세계지적재산권기구(WIPO)	1979	1974
세계기상기구(WMO)	1956	1975
유엔무역개발회의(UNCTAD)	1965	1973
아시아·아프리카법률자문기구(AALCO)	1974	1974
FAO/WHO 국제식품규격위원회(CAC)	1971	1981
유엔아태경제사회위원회(ESCAP)	1954	1992
국제교육국(IBE)	1962	1975
국제도량형국(IBWM)	1959	1981
국제의회연맹(IPU)	1964	1973
국제수로기구(IHO)	1957	1987
정부간해양학위원회(IOC)	1961	1978
국제법정계량기구(OIML)	1978	1974
세계관광기구(UNWTO)	1957	1987
아시아·태평양전기통신협의체(APT)	1979	1994
국제전기통신위성기구(INTELSAT)	1967	2001
국제전기기술위원회(IEC)	1963	2004(준회원)
국제수역국(OIE)	1953	2001
섬유수출개도국기구(ITCB)	1984	1999
세계박람회기구(BIE)	1987	2007
아시아태평양지역식물보호위원회(APPPC)	1981	1995
국제이동위성기구(IMS0)	1985	2013

7.4 산림분야 남북회담

표 50 산림분야 남북회담 연표

구분	일자	주요내용
경제협력추진위원회 (1차)	'00. 12. 27	· 남북경제협력추진위원회 산하에 임진강 수해방지실무협의회와 임진강수해방지공동조사단을 구성하기로 합의
임진강수해방지 실무협의회(1차)	'01. 02. 21	· 남북한 입장차이로 합의문을 작성하지 못함 (남) 공동조사 후 상위 기구에서 사업대상 확정 (북) 산림조성, 하천정비, 댐건설을 주장하면서 사업목표 확정 후 필요 지점만 조사
경제협력추진위원회 (2차)	'02. 08. 27	· 임진강 수해방지 현지조사 11월중 착수, 실무협의회(2차) 10월 중 개최 합의 (남) 임진강 상류의 치산치수용 묘목을 북한에 제공 (북) 임진강 상류의 기상 수문 자료 남한에 통보
임진강수해방지 실무협의회(2차)	'02. 10. 30	· 임진강 상류의 치산치수용 묘목 제공 문제 협의 (남) 공동조사 후 구체적인 계획수립을 주장 (북) 묘목지원이 어려우면, 임진강 주변 양묘장 자재와 장비 지원 요청
경제협력추진위원회 (8차)	'04. 03. 05	· 쌍방지역 현지조사를 '04.04부터 진행하기로 합의 · 실무협의회에서 묘목 제공 등 구체적인 수해방지대책을 마련하기로 합의
임진강수해방지 실무협의회(3차)	'04. 04. 10	· 산림실태 조사 합의(수계별 산림, 조림대상지, 양묘장 실태)
남북농업협력위원회 (1차)	'05. 08. 19	· 양묘장 조성과 산림병해충방제 등 산림자원 증진에 협력하기로 합의(북한의 동, 서부 지역에 양묘장 1개씩 조성 합의)
임진강수해방지 실무접촉(1차)	'06. 06. 27	· 임진강 유역 공동조사의 입장 차이로 회담 종료
경제협력추진위원회 (13차)	'07. 04. 22	· 임진강 수해방지 합의서를 문서교환 방식으로 채택하고 이행키로 합의
산림병해충 방제지원 실무접촉	'07. 05. 08	· 18억원 상당의 방제약품과 장비를 긴급구호 차원에서 제공 ('07.07.24-28 평양 중화군에서 잣나무넓적잎벌 공동방제사업 실시)
남북정상회담	'07. 10. 04	· 농업, 보건의료, 환경보호 등 협력(자연재해 방지를 위해 산림 녹화·병해충 방제 등 남북 공동대응)

남북총리회담(1차)	'07. 11. 16	<ul style="list-style-type: none"> · 제3조 민족 경제의 균형적 발전과 공동 번영을 위한 경제협력 적극 추진 4) 자원개발, 농업, 보건의료 등 분야별 협력 ⑤ 산림녹화 및 병해충방제, 환경오염방지를 위한 협력사업 추진
남북경제협력 공동위원회(1차)	'07. 12. 06	<ul style="list-style-type: none"> · 제6조 남과 북은 보건의료 및 환경보호분야 협력사업 적극 추진 ② 양묘장 조성, 산림녹화 및 병해충방제 사업을 2008년부터 진행하고, 생태계 보전과 환경오염저감 등 환경보호 분야 협력 적극 추진
남북보건의료·환경 보호 협력분과 위원회(1차)	'07. 12. 21	<ul style="list-style-type: none"> · 2. 남과 북은 환경보호·산림분야 협력 적극 추진 ④ 남과 북은 양묘생산능력과 조림능력강화를 위한 산림녹화 협력사업을 단계적으로 추진하며 당면하여 사리원지역에 양묘장을 조성하기로 하고, 이를 위한 공동조사를 2008년 3월중 진행 ⑤ 남과 북은 산림병해충 피해를 막기 위한 조사와 구제를 공동으로 진행하기로 하고 남측이 농약, 설비 등을 제공하기 위한 시료접촉을 2008년 03월중에 개성에서 진행

7.5 산림관련 민간단체

1. 국가 기관 등록 민간단체

표 51 산림관련 국가 기관 등록 민간단체 목록

단체명	대표자	설립	단체 성격 또는 주요활동
민족화해협력 범국민협의회**	홍사덕	1998. 09	· 정당, 종교, 시민사회단체 협의체로 출범 · 미국, 중국, 대양주 등에 10개의 해외협의회가 결성되어 활동
겨레의숲**	홍사덕	2007. 05	· 17개 단체 컨소시엄 : 공동대표(김동근, 영담), 고문(서영훈 등 5명), 이사(강영식 등 13명)
평화의숲*	이세중(변호사)	1999. 04	· 북한의 산림복구를 목적으로 설립된 최초의 단체
동북아 산림포럼*	최현섭 (前강원대총장)	2000. 04	· 1998. 11 창립총회, 2000년 산림청 법인 등록
미래숲*	권병현 (前주중대사)	2002. 06	· 몽골 사막화 방지 조립사업
기후변화센터	이장무 (前서울대총장) (고건 명예이사장)	2008. 02	· 환경부 등록단체 · 아시아 녹화기구 사무국 역할
아시아 녹화기구	고건(위원장) 김동근(상임대표)	2014. 03	· (공동대표) 권병현, 김진경, 이세중, 이장무 · (운영위원) 구길본, 박영주 이견대표, 양호승 월드비전회장, 오연천 서울대총장, 유영숙 前 환경부장관, 유중근 적십자사총재, 이종훈 前 중앙대총장, 정세현 원고아대총장, 조건식 현 대아산대표, 최완규 북한대학원총장, 홍사덕, 허신행 前농림부장관

주) * : 산림청 등록 민간단체, ** : 통일부 등록 민간단체

2. 거래의숲 참여단체

표 52 산림관련 거래의숲 참여 민간단체 목록

단체명	참여	주관사업 또는 역할
거래의숲(본부)	-	중화(민화협공동), 신규양묘장(단독), 종자보관관리시설, 평양시범조림사업, 병해충방제사업 주고나/참여단체 사업 총괄 지도, 관리
민족화해협력범국민협의회	상임대표 이사 운영위원	평양순안양묘장(단독), 중화양묘장(본부공동), 병해충방제사업('07)
우리민족서로돕기운동	상임이사 운영위원	개풍양묘장, 개성지역조림사업(경기도 공동)
평화의숲	공동대표 이사 운영위원	금강산지역(양묘장, 밤나무조림, 시범조림)
홍사단	공동대표 운영위원	개성, 금강산지역 조림사업
불교계(동국대학교, 불교방송)	공동대표 운영위원	홍보, 모금후원사업
사랑의연탄나눔운동	이사 운영위원	개성, 금강산지역 식수행사 주관
한국산지보전협회	이사	기술자문 및 모금후원사업
한국녹색문화재단	이사	기술자문 및 모금후원사업
천주교서울대교구민족화해위원회	이사 운영위원	홍보, 모금후원사업
원불교남북교류협력추진위원회	이사	홍보, 모금후원사업
천도교 동학민족통일회	이사 운영위원	홍보, 모금후원사업
남북나눔공동체(민주평통산하)	이사	홍보, 모금후원사업
우리거래하나되기운동본부	이사 운영위원	양묘장사업 착수
늘푸른삼천(경남지역)	운영위원	평양시 상원군 양묘장
에너지나눔과평화	운영위원	전력시설 관련 지원
자원순환자원연대(전 쓰시협)	운영위원	비료(퇴비) 관련 지원
푸른통일조국가꾸기운동(캐나다)	이사	함북 회령시, 나선시 양묘장(남측인사 출입불가 지역)

3. 기타 민간단체

표 53 산림관련 기타 민간단체 목록

단체명	단체 성격 또는 주요 활동
남북어린이 어깨동무	<ul style="list-style-type: none"> · 98년 설립, 보건의료사업, 영양증진사업, 교육환경개선사업 · 04 평양어깨동무어린이병원, 06 장교리인민병원, 08평양의대병원 어깨동무소아병동
우리민족 서로돕기운동	<ul style="list-style-type: none"> · 96년 설립, 농업·보건의료 분야 개발복구 지원 중점 추진, 유치원 국수 지원 등 · 조선적십자사 병동 현대화, 벼농사 시범사업, 07년 개풍양묘장 조성
한겨레 통일문화재단	<ul style="list-style-type: none"> · 96년에 출범, 교육환경개선사업과 통일문화사업 등 추진 · 평양고등교육도서인쇄공장 내에 부설 어린이 학습장(공책) 공장, 평양 어린이 사과농장
굿네이버스	<ul style="list-style-type: none"> · 국제구호개발 NGO로서 91년 한국에 설립, 긴급구호사업, 농축산개발사업, 보건의료지원사업 등 · 젓소 지원, 유치원 탁아소 신축, 지역마을회관 개보수, 대동강 제약 공장 건립
월드비전	<ul style="list-style-type: none"> · 50년 밥피어스와 환경직목사가 설립. 94년부터 대북지원 · 96부터 6개 국수공장 운영, 협동농장 지원, 5개 지역 시감자 생산 사업장, 과수 및 채소 육종
굿피플	<ul style="list-style-type: none"> · 99년 국제옥수수재단을 통함 옥수수 씨앗 및 비료지원사업을 계기로 사업 참여 · 03년부터 콩기름공장 운영사업 추진
새천년 생명운동	<ul style="list-style-type: none"> · 01년 설립(남북, 해외동포 결집), 땀감 대체에너지 지원 중심(파트너 : 민경련) · 02년 묘목 24본 지원, 난로, 보일러, 연탄 지원
남북평화재단	<ul style="list-style-type: none"> · 07년 설립, 어린이 영양개선사업, 교육훈련 중점 · 08년 평양 대성구역에 배나무 묘목 및 비료 지원, 배농사 협력사업 합의하였으나 경색으로 보류
대한적십자사	<ul style="list-style-type: none"> · 03년부터 남북청소년적십자단원들이 참여하는 우정의 나무심기행사 금강산에서 개최 · 3차례 묘목 120만본 지원
통일 농수산사업단	<ul style="list-style-type: none"> · 6.15 남북공동선언을 계기로 설립, 공동영농 협력사업 · 농기계, 농자재, 기술 지원, 양돈장 확대사업, 농기계 수리, 액비공장

단체명	단체 성격 또는 주요 활동
어린이의약품 지원본부	<ul style="list-style-type: none"> · 97년 보건의료인들이 ‘북한어린이 살리기 의약품 지원본부’ 를 결성해 성금을 시작한 것이 계기 · 이유식, 비타민, 항생제, 구충제, 치과용품, 의료용 소모품 등 지원
유진벨재단	<ul style="list-style-type: none"> · 95년부터 대북 식량지원을 진행하다가 97년부터 결핵퇴치사업 · 결핵백신, 치료약, X레이 검진차량, 진단키트 등 지원
경남통일농업협력회	<ul style="list-style-type: none"> · 05년 출범, 농업지원사업, 장교리 소학교 건립, 콩우유 지원(우리민족서로돕기운동본부와 함께) · 통일달기사업 : 조례에 근거하여 도가 예산 지원
남북강원도 협력협회	<ul style="list-style-type: none"> · 2000년 설립, 01-04 연어치어 남북공동방류 사업, 안면군에 연어부회장 건설 · 2000년대 중반 이후 북강원도 산림병해충 공동방제 사업
남북협력제주도민운동본부	<ul style="list-style-type: none"> · 01년 출범, 제주감귤보내기 사업, 제주산 당근 지원
전남도민남북교류협의회	<ul style="list-style-type: none"> · 범도민적 남북교류협력 운동단체, 모든 사업을 평안남도에 집중 · 영농자재, 농기계 수리공장 장비 및 건설자재 지원, 이양기, 파종기 지원

7.6 남북한 식물명

학명	국명	북한 국명
<i>Abies holophylla</i> Maxim.	전나무	전나무
<i>Abies koreana</i> E.H.Wilson	구상나무	구상나무
<i>Abies nephrolepis</i> (Trautv. ex Maxim.) Maxim.	분비나무	분비나무
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> (Maxim.) Ohashi	고로쇠나무	고로쇠나무
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	단풍나무	색갈단풍나무
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	당단풍나무	넓은잎단풍나무
<i>Acer triflorum</i> Kom.	복자기	복자기나무
<i>Aesculus turbinata</i> Blume	칠엽수	칠엽수나무
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무	가중나무
<i>Alnus sibirica</i> Fisch. ex Turcz.	물오리나무	참오리나무
<i>Alnus japonica</i> (Thunb.) Steud.	오리나무	오리나무
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	두릅나무	드릅나무
<i>Betula costata</i> Trautv.	거제수나무	물자작나무
<i>Betula ermanii</i> Cham.	사스래나무	사스래나무
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (Miq.) H.Hara	자작나무	붓나무
<i>Betula davurica</i> Pall.	박달나무	박달나무
<i>Camellia japonica</i> L.	동백나무	동백나무
<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume	서어나무	서어나무
<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.	밤나무	밤나무
<i>Cedrela sinensis</i> Juss.	참죽나무	참중나무
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	편백	편백나무
<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	화백	화백나무
<i>Chionanthus retusus</i> Lindl. & Paxton	이팝나무	이팝나무
<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J.Presl	녹나무	녹나무
<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	층층나무	층층나무
<i>Cornus kousa</i> F. Buerger ex Hance	산딸나무	산딸나무
<i>Cornus officinalis</i> Siebold & Zucc.	산수유	산수유나무
<i>Cornus walteri</i> F.T.Wangerin	말채나무	말채나무
<i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. ex L.f.) D.Don	삼나무	삼나무
<i>Dendropanax morbiferus</i> H.Lev.	황칠나무	
<i>Eucommia ulmoides</i> Oliv.	두충	두충나무
<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold	화살나무	두충나무
<i>Euodia daniellii</i> Hemsl.	쉬나무	수유나무
<i>Firmiana simplex</i> (L.) W.F.Wight	벽오동	청오동나무

학명	국명	북한 국명
<i>Pyrus phrifolia</i> (Burm.f.) Nakai	들메나무	들메나무
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	물푸레나무	물푸레나무
<i>Ginkgo biloba</i> L.	은행나무	은행나무
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	헛개나무	헛개나무
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	가래나무	가래나무
<i>Juglans regia</i> L.	호두나무	호두나무
<i>Juniperus chinensis</i> L.	향나무	향나무
<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.	읍나무	읍나무
<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carrere	일본잎갈나무	창성이갈나무
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	백합나무	튜립나무
<i>Litsea japonica</i> (Thunb.) Juss.	까마귀쪽나무	까마귀쪽나무
<i>Maackia amurensis</i> Rupr.	다릅나무	다릅나무
<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.	후박나무	후박나무
<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무	참오동나무
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	황벽나무	황경피나무
<i>Picea jezoensis</i>	가문비나무	가문비나무
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	소나무	소나무
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	잣나무	잣나무
<i>Pinus rigida</i> Mill.	리기다소나무	삼엽초세잎소나무
<i>Pinus strobus</i> L.	스트로브잣나무	스트로브스소나무
<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	곰솔	흑송(곰솔, 해솔)
<i>Platanus orientalis</i> L.	버즘나무	방울나무
<i>Populus euramericana</i>	이태리포플러	잡종뽕뿌라나무
<i>Prunus sargentii</i> Rehder	산벚나무	큰 앞산벚나무
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (Maxim.) E.H.Wilson	벚나무	산벚나무
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	상수리나무	참나무
<i>Quercus aliena</i> Blume	갈참나무	갈참나무
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	신갈나무	신갈나무
<i>Quercus mysinifolia</i> Blume	가시나무	가시나무
<i>Quercus serrata</i> Murray	졸참나무	졸참나무
<i>Quercus variabilis</i> Blume	굴참나무	굴참나무
<i>Rhus verniciflua</i> Stokes	옷나무	옷나무
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무	아카시아나무
<i>Sophora japonica</i> L.	회화나무	회화나무
<i>Sorbus commixta</i> Hedl.	마가목	마가목
<i>Stewartia pseudocamellia</i> Maxim.	노각나무	노각나무

학명	국명	북한 국명
<i>Styrax japonica</i> Siebold & Zucc.	때죽나무	때죽나무
<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc.	쪽동백나무	쪽동백나무
<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.	낙우송	락우삼나무
<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.	주목	주목
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	피나무	피나무
<i>Torreya nucifera</i> (L.) Siebold & Zucc.	비자나무	비자나무
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> (Rehder) Nakai	느릅나무	떡느릅나무
<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr	난티나무	난티느릅나무
<i>Viburnum odoratissimum</i> var. <i>awabuki</i>	아왜나무	사철가막살나무
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	느티나무	느티나무