

1:5,000 산림입지토양도의 제작과 활용 및 향후 발전 방향

권민영¹ · 김가은¹ · 정진현² · 최창은³ · 박관수⁴ · 김춘식⁵ · 손요환^{1*}

¹고려대학교 환경생태공학과, ²전 국립산림과학원, ³고려대학교 산학협력단,
⁴충남대학교 산림환경자원학과, ⁵경상국립대학교 산림자원학과

The 1:5,000 Forest Soil Map: Current Status and Future Directions

Minyoung Kwon¹, Gaeun Kim¹, Jinhyun Jeong², Changeun Choi³,
Gwansoo Park⁴, Choonsik Kim⁵ and Yowhan Son^{1*}

¹Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

²(Formerly) National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

³Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

⁴Research and Business Foundation, Korea University, Seoul 02841, Korea


⁵Department of Forest Resources, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

요약: 산림자원의 효율적인 관리를 위해서는 산림입지환경에 대한 종합 데이터베이스의 기반이 되는 산림입지토양도가 필요하다. 국내에서 그동안 1:25,000 산림입지도가 제작되어 사용되어왔으나 높은 정밀도와 개별 목적에 특화된 산림입지 정보를 갖춘 대축척 산림입지토양도의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 2009년부터 2021년까지 1:5,000 축척의 산림입지 토양도 제작사업이 진행되었다. 이와 관련하여 본 논문에서 1:5,000 산림입지토양도 제작 과정과 주요 결과, 활용 방안과 향후 발전 방향을 알아보고자 하였다. 산림입지토양도 제작은 표준매뉴얼에 따라 진행되었으며, 조사 및 분석 결과를 바탕으로 토양형, 토심, 토성별 전국 단위 지도가 작성되었다. 산림입지토양도 자료는 다양한 주제도 제작의 기초가 되며, 산림 재해의 방지 및 예측과 환경용량 평가 등에 활용될 수 있다. 그러나 앞으로 산림경영 선진화와 디지털 사회로의 전환에 맞추어 산림입지토양도의 제작 방법을 발전시키고 그 활용방안도 다각화시킬 필요도 있다. 이를 바탕으로 국가 산림기본계획 목표 달성을 위한 다양한 정보 제공, 산림 빅데이터 확보 및 국가 발전 계획에 상응하는 지속가능한 산림경영의 실현 등을 기대할 수 있을 것이다.

Abstract: To improve on the efficient management of forest resources, it is necessary to create a forest soil map, which represents a comprehensive database of forest lands. Although a 1:25,000 scale forest site map has been used in Korea, the need for a large-scale forest soil map with high precision and information on forest lands that is specialized for individual purposes has been identified. Moreover, to keep pace with the advancement in forest management and transition to a digital society, it is essential to develop a method for constructing new forest soil maps that can diversify its use. Therefore, this paper presented a developmental process and used a 1:5,000 scale forest soil map to propose future directions. National maps showing the soil type, depth, and texture were produced based on the survey and analysis of forest soils, followed by the Forest Land Soil Map (1:5,000) Production Standard Manual. Alternatively, forest soil map data were the basis on which various other maps that can be used to prevent and predict forest disasters and evaluate environmental capacities were developed. Accordingly, ways to provide appropriate information to achieve the national forest plan, secure forestry big data, and accomplish sustainable forest management that corresponds to the national development plan are proposed based on results from the current study.

Key words: environmental resources, geophysics, soil information system, soil map

* Corresponding author
E-mail: yson@korea.ac.kr

ORCID
Yowhan Son  <https://orcid.org/0000-0001-5621-9894>

서론

산림은 정작, 벌채, 농업 및 산불 등 인간의 활동으로 오랜 기간 영향을 받아 왔으며 그 면적이 점진적으로 감소하였다. 그러나 산림이 목재와 같은 산림자원을 공급하고 다양한 생태계서비스를 제공하는 등 중요성이 점차 강조되고 있다. 기존의 산림을 지속가능하게 관리하고 파괴된 산림을 복원하고자 할 때 입지와 토양 조건을 감안하여 수종을 선정하고 관리하는 것이 중요하며 이를 위해서는 정확한 토양 자료가 반드시 필요하다. 즉, 산림토양환경과 관련된 종합 기초자료인 토양도를 제작하는 것은 산림자원의 효율적인 관리에 필수적이다.

1899년 미국을 시작으로 20세기 들어 국가 단위의 토양도 제작이 여러 나라에서 실행되었다(Brevik et al., 2016). 그리고 세계적으로 ISRIC (International Soil Reference and Information Centre)에서 다양한 기관과의 협력사업을 통해 전 지구 토양 특성 데이터베이스를 개발 및 공유하고 있다. 국내에서는 농촌진흥청이 토양환경정보시스템 휴토타를 개발하여 작물별 토양 적성도, 농경지 화학성, 토양 특성, 정밀농업기후도, 생물상 분포, 농업환경 변동 정보 등을 인터넷을 통하여 제공함으로써 영농인 등 다양한 수요자들이 쉽게 활용할 수 있도록 보급하고 있다(Hong et al., 2011). 한편 산림부문에서는 전국 산림입지토양 특성을 조사하여 1:25,000 축척의 산림입지도를 제작하여 사용해 왔으나, 높은 정밀도와 개별 목적에 특화된 산림입지 정보를 갖춘 대축척 산림입지토양도의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 산림청에서는 2009년부터 2021년까지 1:5,000 산림입지토양도 제작사업을 추진하게 되었다. 본 논문에서는 1:5,000 산림입지토양도의 제작 과정과 그에 따른 주요 결과를 서술하고, 기존 산림토양 분야의 현황 및 국내외 환경을 고려하여 산림입지토양도의 활용 방안과 앞으로의 발전 방안을 제시하고자 한다.

산림입지토양조사 개관

1. 산림토양조사

1) 1945년 이전

우리나라의 산림토양조사는 조선총독부 시절인 1937년 Hirokuma가 적지적수 조립을 위하여 기후, 풍토, 지력 요구도, 산주의 희망 등을 고려하여 도별로 간이 적지적수표를 작성하면서 처음으로 시행되었다(Hirokuma, 1913; Kang, 2003). 여기에서는 1939년에 백두산에서 발원하는 함경남도 보천보 부근의 현무암 지역의 해발 1,000 m 지역에 분포하는 갈색산림토양을 대상으로 마상령, 보천보, 대진평 지역의 토양생성 요인과 물리, 화학적 성질을 구명하고 규

반비와의 관계를 밝혀 산지 이용에 대한 석회 시용량 등이 제시된 바 있다(Kawasima, 1939; Chung and Lee, 1965).

2) 1960년 이후

일제 강점기와 6.25 전쟁을 거치면서 황폐화된 국토를 녹화하기 위하여 1964년 6월 대한민국 농림부, UNSF 및 FAO는 남한의 산림조사와 사방 및 조림에 관한 연구와 현장 평가를 계획하였다. 이에 따라 4년간 강원도 및 경상북도 북부지방 임야 1,000,000 ha를 대상으로 항공사진을 촬영하고 산림의 입지조건과 산림자원 조사를 진행하였다. 토양침식이 빈번히 일어나 이를 방지하기 위한 알맞은 수종의 선정 및 식재를 위하여 토양침식의 정도에 따라 3등급으로 구분 조사하여 도면상에 표기하였다(Han, G.J. personal communication). 1968년부터 1969년까지 농림부 주관으로 UNDP 사업인 3개 강 유역의 조림 및 사방사업의 일환으로 적지적수를 위한 산림토양조사가 실시되었다. 그 후, 1969년 말 UNDP 사업이 종료됨에 따라 당시 수행 중이던 산림조사, 토양조사 사업들은 1970년 산림자원조사연구소의 발족과 함께 이관되었다. 1967년 1월, 산림청이 발족함에 따라 치산녹화 운동이 대대적으로 추진되기 시작하였고, 1970년대에 들어서면서 산림자원조성을 위한 전국 14개 대단지 산지개발계획 사업에 발맞추어 산림토양조사도 본격적으로 시작되었다(Table 1).

(1) 적지적수 조립을 위한 산림토양조사

산림자원조사연구소가 발족하면서 UNDP 사업이 종료됨에 따라 1968년부터 1969년까지 산림토양조사사업으로 3개 강(안성천, 동진강, 상주천) 유역의 임지를 일본 산림토양 분류체계에 따라 토양형과 능력급수별로 표시하였다(Forest Research Institute, 1972).

(2) 대단지 산림개발 토양조사

인구 밀도가 낮고 산림 면적이 높은 대표적인 산간 지역에 14개 용재림 대단지를 조성하고자 토양형 분류 및 임지능력 구분조사를 실시하였다(Forest Research Institute, 1972). 이에 따라 토양의 생산능력급수, 우점 식생 및 중요 임목의 생육환경을 조사하고 조림 대상지의 적수 선정 및 갱신, 무육, 임지개량 등에 관한 자료를 제공하였다.

(3) 월성, 단양 방충대 산림토양조사

1972년에는 당시 우리나라 소나무에 극심한 피해를 주고 있던 솔잎혹파리의 선단지를 차단하기 위하여 경주지구와 충북 단양지역 일대에 16,290 ha의 방충대를 설치하고 수종갱신 조립을 목적으로 토양조사사업을 시행했다(Forest Research Institute, 1972).

Table 1. Summary of forest soil survey projects (Modified from Lee et al., 2009).

Year	Project	Area (1,000 ha)	Region
1968-1969	Righteous tree selection of 3 watersheds	112	Anseong, Sangju, Dongjin
1970-1972	Forest soil survey for large scale forest development plan	351	Peongchang, Jeongseon
1972	Forest soil survey for insect control belt plan	16	Weolseong, Danyang
1972-1973	Forest soil survey for express way area	118	Seoul-Dejeon
1974-1976	Reconnaissance forest soil survey	6,640	Whole country
1980-1985	Forest soil survey for economic forest plan	209	80 regional complexes
1988-1995	National forest soil survey	813	National forests
1995-2004	National forest soil survey (1:25,000)	6,500	Whole country
2008-2021	National forest soil survey (1:5,000)	6,500	Whole country

(4) 고속도로 주변 산림토양조사

착공 후 단기간 내 완공된 고속도로 주변에서 산림과피로 인해 토양침식이 일어나서 가시권 내의 산림을 재조성해야 할 필요성이 생겼다. 이에 따라 고속도로 주변 임지의 복구와 집약적 조림을 목적으로 1972년에는 대전에서 영동까지 17,000 ha의 임야면적을, 1973년에는 서울에서 대전, 영동에서 대구간의 101,000 ha의 임야면적에 대한 산림토양 조사를 실시하였다.

(5) 전국 간이 산림토양조사

1974년부터 1976년까지 3년간 임지 이용의 합리화와 적지적수 선정을 위해 전국 임지에서 간이 산림토양조사를 실시하였다(Forest Research Institute, 1976). 조림수종의 성장과 산림토양과의 상관관계가 높으며 현지에서 쉽게 조사할 수 있는 토심, 지형, 건습도, 경사, 퇴적 양식, 침식, 견밀도, 토성 등의 8가지 주요 인자를 대상으로 전국 986도엽(1:25,000)의 임지능력 구분도를 제작하고 6,640,000 ha의 산림면적을 급지별로 구분하였다. 그 결과, 산림 면적의 1/3 정도인 약 2,000,000 ha가 임지생산능력급수 하위 등급인 IV-V급지에 해당되는 것으로 나타났다.

(6) 경제림 단지 조성을 위한 정밀 산림토양조사

제2차 치산녹화 10년 계획의 중점사업인 경제림 단지 80개소를 조성하기 위하여 1980년부터 1985년까지 조림 예정지 209,000 ha를 대상으로 임지환경 및 토양조건을 조사하고 토양의 이화학적 성질을 분석하는 정밀 산림토양조사를 실시하였다(Forest Research Institute, 1972).

2. 산림토양도 제작

1) 간이산림토양도(1:25,000)

산림청 주관으로 1974년부터 3년간 산지 관리의 기본틀을 마련하기 위하여 전국 산지 6,640,000 ha를 대상으로

간이산림토양조사를 실시하였다(Forest Research Institute, 1976). 이것은 산림토양조사사업 시작 이래 가장 큰 전국 규모의 사업으로 산림자원조사연구소가 주관이 되어 각 시, 도 및 영림서의 지원을 받아 전국 산림토양의 잠재 생산능력을 파악하여 간이산림토양도를 제작(986도엽), 보급함으로써 적지적수 선정기준을 제시하는 등 과학적으로 산지를 이용하는 기준지침을 마련하였다는 점에서 의의가 있다. 산림토양조사 사업은 전문지식을 요구하는 일임에도 불구하고 단기간에 과도한 조사량(예를 들면 1975년 1년 동안 400,000 ha 조사함)으로 다소 미흡한 자료의 정확도를 보였으나, 현재까지 전국 임지의 생산력을 판정하는 기본도로 활용되고 있다.

2) 산림입지도(1:25,000)

전 국토의 산지를 대상으로 국가 단위의 수치산림토양도를 제작한 사례는 세계적으로 매우 드물다. 이 사업을 위해 전국 임업공무원을 대상으로 토양조사 방법 및 토양도 작성을 위한 교육을 선행하였고, 1995년부터 2003년까지 9년간 전국 산지 6,500,000 ha를 대상으로 산림사업의 기본이 되는 산림의 임지환경조건, 토양 성질, 주요 수종의 성장량을 파악하여 산림입지도 813도엽을 제작하였다(Figure 1; National Institute of Forest Science, 2004). 또한 조사 당시 채취한 토양시료를 분석하여 한국 산림토양의 이화학적 성을 구명하였다(Jeong et al., 2002).

1:5,000 산림입지토양도 제작 및 주요 결과

1. 배경 및 목적

제1차 국가GIS기본계획으로 제작된 1:25,000 축척의 산림입지도가 제공되고 있지만, 해당 입지도로는 개별 산주 등의 요구도에 맞춘 필지별 정보 제공에 한계가 있었으며,



Figure 1. 1:25,000 forest site map of Korea (National Institute of Forest Science, 2004).

개발 관련 일반 토지 정보에 비해 산지보전 관련 정보가 상대적으로 미흡했다. 이에 대한 대응 방안으로 정확도가 높은 산림입지 정보 구축이 요구되어 1:5,000 상세 도면 제작의 필요성이 대두되었다. 또한 산림입지 정보를 통한 산지이용 효율을 향상시키는 맞춤형조림지도, 입지생산 능력급수도 등 응용지도의 정확도를 높이려면 산림입지 토양도의 대축척화가 선행되어야 했다. 이에 따라 2008년 고도화된 산림GIS기본계획(2009-2013)에 1:5,000 산림입지토양도 제작에 대한 세부 이행계획이 포함되었다. 즉 국토의 효율적 이용 및 사이버공간정보 구축 등을 목적으로 추진되고 있는 국토통합정보시스템(국가공간정보체계)과 연계하기 위하여 산림입지토양도 제작사업이 선정되었으며, 공간정보에 대한 부처 간 상호 연계를 통해 타 주제도와 의 일괄 서비스 제공을 위하여 국가 표준체계에 맞는 1:5,000 축척의 산림입지토양도 제작이 추진된 것이다 (Korea Forestry Promotion Institute, 2017).

산림입지토양도의 대축척화를 통해 필지 단위의 상세 토양정보를 제공하여 산림보전과 이용에 대한 대국민 서비스를 제고할 수 있으며, 맞춤형 서비스 구현을 위한 기반 확보 및 환경을 조성하고 신속, 정확한 산지 관련 정보 제공 및 자료의 현재성을 확보할 수 있다. 한편 동일한 지역(경기도 이천)을 대상으로 제작된 1:25,000 축척 도면과 1:5,000 축척 도면을 비교하면 Figure 2와 같다. 산림입지토양도를 이용한 새로운 응용정보 발굴 및 서비스 방안을 마련하고 임상도, 맞춤형조림지도, 산사태위험지도 등과의 연계를 통한 사업 효율화 방안도 기대되었다. 아울러 정부 3.0 가치실현을 위한 능동형 산림 융합 콘텐츠 체계 마련을 위해 단순 지도 서비스의 한계를 탈피하고 산림공간 정보, 통계 정보, 정책 정보 등을 융합하여 수요자 중심의 능동형 산림공간정보 서비스 체계 구축도 기대되었다.

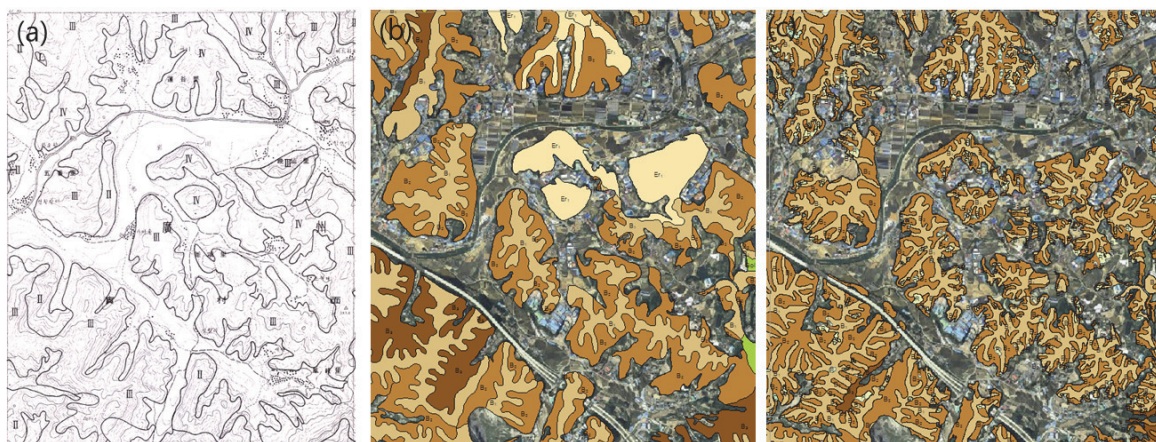


Figure 2. Comparison of forest soil maps (a: 1:25,000 reconnaissance forest soil map, b: 1:25,000 forest soil map, c: 1:5,000 forest soil digital map).

Table 2. Forest soil type.

Soil group	Code	Soil subgroup	Code	Soil type	Code	
Brown forest soil	B	Brown forest soil	B	Dry brown forest soil	B ₁	
				Slightly dry brown forest soil	B ₂	
				Moderately moist brown forest soil	B ₃	
				Slightly wet brown forest soil	B ₄	
		Reddish brown forest soil	rB	Dry reddish brown forest soil	rB ₁	
				Slightly dry reddish brown forest soil	rB ₂	
Red and yellow forest soil	R-Y	Red forest soil	R	Dry red forest soil	R ₁	
				Slightly dry red forest soil	R ₂	
		Yellow forest soil	Y	Dry yellow forest soil	Y	
Dark red forest soil	DR	Dark red forest soil	DR	Dry dark red forest soil	DR ₁	
				Slightly dry dark red forest soil	DR ₂	
				Moderately moist dark red forest soil	DR ₃	
		Dark red brown forest soil	DRb	DRb	Dry dark red brown forest soil	DRb ₁
					Slightly dry dark red brown forest soil	DRb ₂
Gray brown forest soil	GrB	Gray brown forest soil	GrB	Dry gray brown forest soil	GrB ₁	
				Slightly dry gray brown forest soil	GrB ₂	
Volcanic ash forest soil	Va	Volcanic ash forest soil	Va	Dry volcanic ash forest soil	Va ₁	
				Slightly dry volcanic ash forest soil	Va ₂	
				Moderately moist volcanic ash forest soil	Va ₃	
				Wet volcanic ash forest soil	Va ₄	
				Dry red volcanic ash forest soil	Va-R ₁	
				Slightly dry red volcanic ash forest soil	Va-R ₂	
				Gravel volcanic ash forest soil	Va-gr	
Eroded soil	Er	Eroded soil	Er	Slightly eroded soil	Er ₁	
				Severely eroded soil	Er ₂	
				Erosion controlled soil	Er-c	
Immature soil	Im	Immature soil	Im	Immature soil	Im	
Lithosol	Li	Lithosol	Li	Lithosol	Li	
				Boulder stone	Bs	
8 Soil groups		11 Soil subgroups		29 Soil types		

산림공간정보서비스(FGIS)를 위한 산림기본도로서 산림입지토양도의 고품질화를 지속적으로 추진하여 산림공간정보 활용도를 향상시키고 수요자 중심의 다양한 산림공간정보 제공을 통한 대국민 만족도 향상 및 국가 경쟁력 제고를 기대하고 추진되었다(Korea Forestry Promotion Institute, 2017).

2. 체계 및 제작방법

본 사업은 산림청의 총괄 하에 2008년 시범사업을 시작으로 2009년부터 2021년까지 진행되었다. 사업총괄기관은 산림청 정보통계담당관실로 변화가 없었으나, 주관기관은 국립산림과학원 산림복원연구과(2009년-2011년)에서 한국임업진흥원 산림공간정보실(2012년-2021년)로 업무가 이관되어 사업이 추진되었다. 사업은 산림입지토양도(1:5,000) 제작 표준매뉴얼(Korea Forestry Promotion Institute, 2013)에 따라 기초자료 수집 및 분석, 개황 조사,

잠정산림토양경계구획, 현지 조사 및 확인, 산림입지토양도 제작 등의 총 5개 공정을 거쳐 진행되었다.

1) 기초자료 수집 및 분석

산림입지토양도 제작을 위해 필요한 기초자료에는 산림입지도(1:25,000), 수치지질도 (1:50,000), 수치지형도(1:5,000), 정사영상(25 cm급) 등이 있다. 산림청 및 한국임업진흥원에서 shp파일 형태로 수집하고, 정사영상은 tif파일 형태로 수집하였다. 수치지형도 분류 및 분석은 등고수치가 상이한 곳은 TIN을 생성하여 육안으로 검토하여 주변의 등고수치 값으로 수정하였다. 사업 초기 Digital Elevation Model (DEM)을 도엽 단위로 제작하여 활용하였으며, 2014년부터 국토정보플랫폼 공개자료를 이용하여 분석에 활용하였다(Figure 3). Figure 3는 기 분석된 DEM 자료로부터 대상지의 표고[Figure 3(a)], 경사[Figure 3(b)], 방위[Figure 3(c)]를 추출한 지도를 나타낸다.

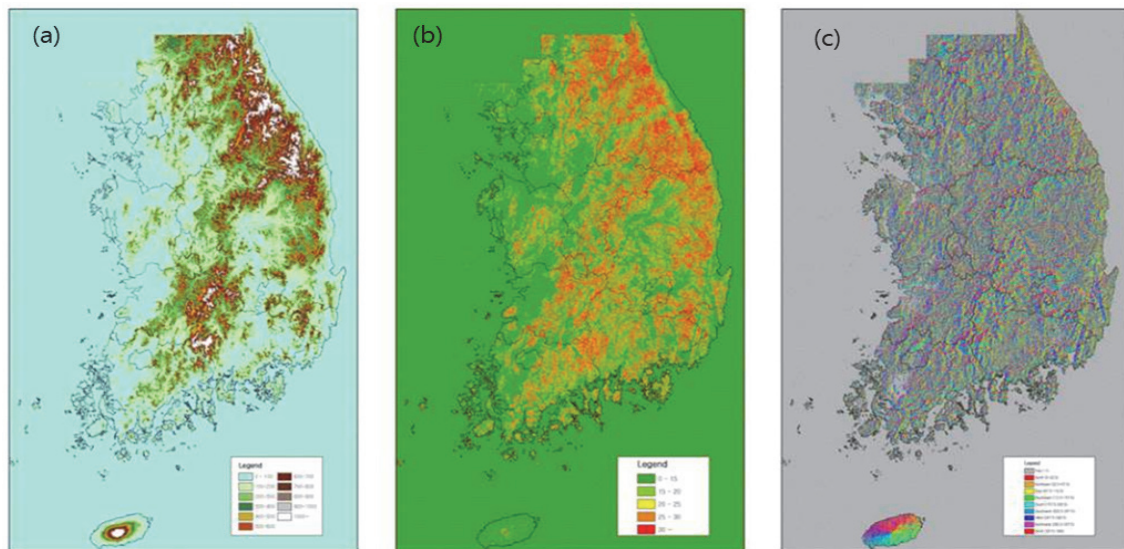


Figure 3. Terrain analysis maps (a: elevation, b: slope, c: aspect) (<https://map.ngii.go.kr>).

2) 개황 조사

현실 임분의 산림입지조건, 토양 특성, 세부 모암 자료를 바탕으로, 산림토양형, 모암 등의 분석자료가 현지와 상이한 부분은 개황 조사 시에 산림토양경계구획에 반영하며 표준지 조사 등 기초자료로 이용하였다. 개황 조사에 필요한 도면은 표준템플릿을 이용하여 정사항공사진, 수치지질도(1:50,000), 산림입지도(1:25,000), 산림과 비산림 경계를 표기하고, 출력도면에 조사가 필요한 지역과 조사경로를 기록 후 조사를 수행하였다. 이때 1:25,000 산림입지도의 토양형 및 모암 분포에 대한 기본 정보를 참고하였다. 그리고 개황 조사는 조사 지역을 조망할 수 있는 지점을 설정한 후 이동하여 지형, 모암, 토양 분포, 임상 분포, 임목 생장 상태 등을 고려하여 잠정 토양형 및 토양 경계선을 도면에 기록하고, 토양분포 상황 확인이 필요한 곳은 해당 임분에서 재확인했다. 토지이용 변화(개발지, 추가 암석지 등), 모암 및 산림토양 분포, 임상 분포, 토양형 경계 등을 개황조사야장에 기록하였다. 현장에서 확인된 암석지, 암쇄토양, 침식토양, 국소적으로 출현하는 토양을 구획 및 기록하여 토양경계구획에 활용하였다. 암석지는 암석 노출도가 75% 이상(임분 밀도가 낮고 생육 불량지)인 곳은 암석지 및 전석지로 구분하였다. 암쇄퇴적물이 섞여 있고 토심이 20 cm 미만 정도로 매우 얇고 토양층 바로 아래 암석이 출현하며, 소나무 또는 활엽수 임지로 항공사진 및 육안으로 암석 노출이 많고 임목 생장이 불량한 임지는 암쇄토양 및 암석지로 구분하였다. A층 또는 B층 일부가 현재 토사 유출이 진행 중인 토양은 침식지로 구분하였다. 단, 산사태 발생지 등 사방구조물과 사방조림(오리나무, 리기다소나무, 아까시나무)으로 지피가 고정되어 있으나 벌채 시 침식 발생이

우려되는 토양은 사방지 토양으로 구분하였다.

3) 산림토양경계 구획

지형요소분석법의 정확도를 높이기 위해 GIS 프로그램으로 표고, 경사, 방위 등 분석자료 및 정사항공사진을 이용하여 산림토양경계를 직접 구획하였다. 산림입지토양도의 외곽경계라 할 수 있는 산림과 비산림 경계는 현실 임목이 서 있는 것을 산림으로 보는 임층설에 기반하였다. 이를 위해 정사항공사진, 고해상 위성영상 등을 이용하여 임지와 농경지의 경계를 임상도 제작시 구축된 산림과 비산림 경계 자료를 이용하여 구분하였다. 산림토양경계구획 시 산림입지도(1:25,000)의 속성자료를 이용하여 산림토양형 등 전체적인 토양 특성을 파악하고 이를 현지 조사 시 활용하였다. 잠정산림토양경계구획에서 모암은 토양 경계를 판단하는 주요 인자가 되므로 1:5,000 축척의 산림입지토양조사에서는 16개의 중분류로 구분하여 이용하였다. 수치지질도상에서 소분류(DOR) 암석 종류의 성질이 유사한 것끼리 묶어 중분류로 구분하였다. 화성암은 화강암류, 반암류, 규장암류, 안산암류, 현무암류, 섬록암류 등 6개, 퇴적암은 석회암류, 사암류, 이암류, 혈암류, 응회암류, 역암류 등 6개, 변성암은 편마암류, 편암류, 천매암류, 점판암류 4개 등으로 구분하였다. 정사항공사진 상에서 지형, 경사, 방위, 침식 등을 기준으로 지형요소분석법 및 GIS 분석기법 등을 이용하고 산림토양경계구획 전 사전 조사 및 현지 조사 결과와 수치지질도(1:50,000)를 이용하여 토양 생성의 가장 주요한 요인 중 하나인 모암의 분포를 파악하였다. 지형, 기복, 경사 형태, 배수 상태, 퇴적계, 침식계 등의 지형 요소를 분석하고, 능선 구분은 유역 단위

중심으로 수치지형도에서 토양형(수분 조건)을 고려하여 구분하였으며, 계곡부와 연결된 산복곡부 구분에서는 같은 방향의 하단부까지 내려가도록 하였다.

4) 현지 조사 및 확인

현지 조사 및 확인은 개황 조사와 잠정산림토양경계구획을 통해 대상지의 토양형과 경계를 판단하고 현지의 토양조건을 잘 반영하였는지를 확인하여, 최종 토양형 경계를 확정하는 과정이다. 조사 표준지 선정에 위하여 잠정산림토양경계구획 폴리곤에 잠정산림토양형, 지형, 사면 위치, 경사 형태를 입력한다. 표준지 선정 및 분석은 사업수행에서 개발한 프로그램을 이용하였다. 선정된 조사포인트가 보이도록 표준템플릿을 이용하여 작성하고, 개황 조사 자료와 전문가 검토 후 최종 확정하였다. 표준지 조사는 크게 산림입지환경조사와 산림토양환경 조사로 구분된다. 산림입지환경 조사는 산림토양의 종류 및 특성과 밀접한 관계가 있으므로 산림토양단면 조사 전 실행하며, 표준지의 표고, 경사, 방위, 모암, 기후대는 분석값으로 하고 도엽명, 표준지 번호, 좌표, 행정구역, 날씨, 조사자 등의 순으로 기록하였다. 산림토양환경 조사로 자연적 또는 인위적 교란이 발생한 지점은 피하면서 해당 표준지의 토양 특성을 대표할 만한 지점을 선정 후 폭과 깊이를 각각 1 m 크기로 굴취 후 단면 및 주변 임분을 촬영하였다. 산림토양단면 조사 항목은 낙엽층 두께, 유효토심, 토심, 토색, 풍화 정도, 토성, 토양 구조, 석력 함량, 견밀도, 토양형이다.

5) 산림입지토양도 제작

최종 산림입지토양도는 구획 수정, 기초자료 재분석, 매칭작업, Topology 검사, 통합작업, 도엽단위 자르기, 검사표 작성, 메타데이터 작성, 라벨링 및 표준레이아웃을 적용하여 제작하였다. 산림입지토양도의 기본 파일포맷은 SHP 포맷으로 하고 토폴로지 등의 검사를 위하여 Arc-GIS GDB 파일로 작성하였다. 좌표 체계는 세계측지계를 사용하고, 벡셀타원체를 사용하는 기존의 산림GIS 자료와 호환을 위하여 한국측지계로 변환하여 2종류의 좌표 체계가 함께 사용될 수 있도록 구축하였다.

산림입지토양도 DB구조는 전자야장을 이용한 자료입력 방법으로 TTAS.IS-19115 메타데이터 패키지 데이터사전을 참조하여 작성하였다. 작업이 완료된 후 상호 인접되는 데이터를 지형지물 및 속성의 표현상 모순이 없도록 수정하고, 다른 좌표계와의 인접지역은 동일좌표계로 변환하여 일치시킨 후 원래 좌표계로 환원하였다. 이미 완성된 도엽이 있을 경우 완성된 도엽을 기준으로 하되, 특별한 지침이 없을 경우 상측도엽과 좌측도엽을 기준으로 정

한다. 인접처리가 완료된 도면은 모두 연결하고 도곽선을 삭제한 후 단일평면직각좌표계를 사용하여 하나의 연속 파일로 저장하였다. 잘린 파일들은 원본 파일의 정보를 모두 가져 왔는지 Map 중첩을 통해서 확인하며, ArcGIS의 ArcCatalog에서 Topology Rule을 이용하여 각 파일의 오류 값을 확인하였다. Topology는 GIS 프로그램 Rule을 추가한 후 도형정보의 적정성을 검사하고, 대면적 폴리곤을 확인하였다.

산림토양경계구획 속성 데이터의 정확성과 조사표준지 속성정보의 정확성 검사는 주제도검사(육안)와 오류프로그램을 이용하였다. 속성정보 사이에 논리적 결함 여부를 판단하는 논리적 검사와 인접 도엽간 데이터값 및 연결의 동일성을 검사하는 정확성 검사를 실시하여, 이상코드 입력 및 속성 간 논리적 이상 값 등을 검토하여 수정하였다. 최종 도엽단위 출력물은 도엽명, 도엽번호, 발행처, 편집연도, 인쇄연도, 내도곽선, 외도곽선, 인덱스, 스케일바, 축척, 투영법, 타원체, 범례, 기타 사항 등을 기입한 표준 레이아웃을 적용하였다. 산림입지토양도는 도엽별로 1:5,000 축척으로 제작되어야 하므로 메타데이터 Extensible Markup Language (XML) V1.0을 이용하여 작성하였다. 메타데이터 작성은 2005년도 국가지리정보유통체계 구축사업 시 구축된 메타데이터 편집기와 공유할 수 있도록 하였다.

3. 주요 결과

1) 토양형

민북지역 및 도서지역을 제외한 면적 5,893,824 ha의 산림입지토양도를 제작하였다[Figure 4(a)]. 산림입지토양 분포는 갈색산림토양이 77.2%로 가장 높으며, 암적색산림토양은 10.3%, 회갈색산림토양은 6.5%, 화산회산림토양은 1.2%, 침식토양은 1%, 암쇄토양은 0.7%의 순으로 나타났다. 한편 1:25,000 산림입지도의 경우 민북지역을 제외한 6,043,123 ha에 대한 도면을 제작하였는데, 두 가지 도면에서의 면적 차이는 군사지역과 개발 및 도서 지역 등의 차이에 의해 나타났다. 토양형을 이전 결과와 비교하면 갈색산림토양이 89%에서 77.2%로 줄었고, 암적색산림토양은 7%에서 10.3%로 회갈색산림토양은 1%에서 6.5%로 각각 높게 나타났다. 이러한 차이는 1:5,000 산림입지토양도의 작도단위 및 모암별 세부 구분의 차이에서 기인된 것으로 판단된다.

2) 토심

30 cm 이상 60 cm 미만의 토심이 49.2%로 가장 높게 나타나고 있으며, 30 cm 미만이 35.3%, 60 cm 이상이 12.2% 분포하고 있다. 또한 암석지와 석력지 등의 기타 토심이 3.3%를 차지하고 있다[Figure 4(b)].

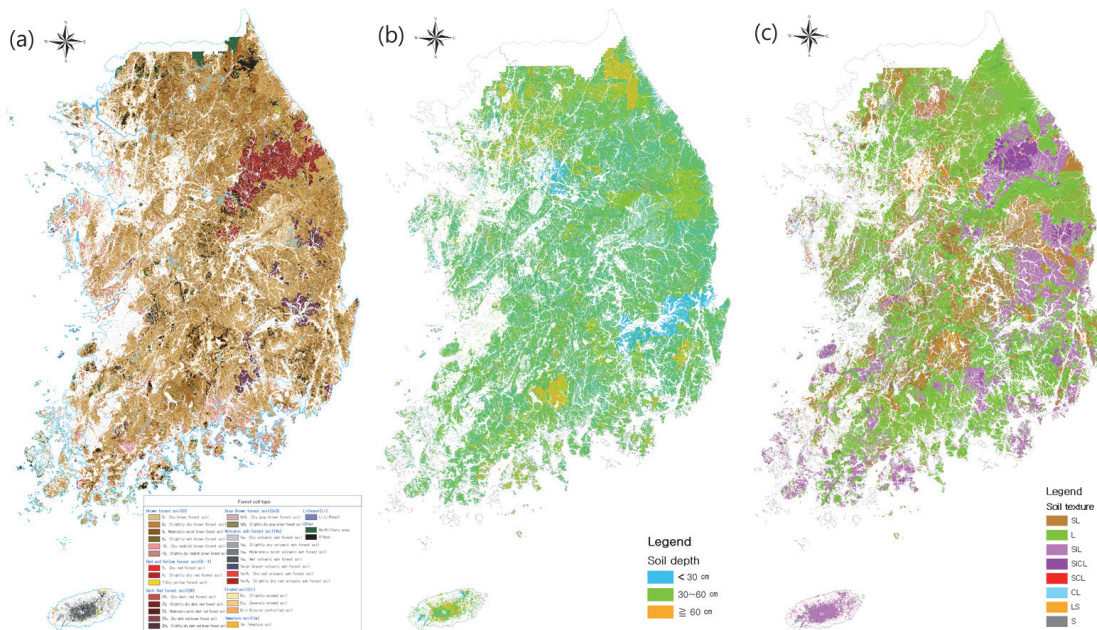


Figure 4. 1:5,000 forest soil map of Korea (a: soil type, b: soil depth, c: soil texture).

3) 토성

양토가 45.4%로 가장 높으며, 사양토 26.1%, 미사질양토 21.7%, 미사질식양토 2.1%, 양질사토 1.2%, 식양토 0.2%, 사질식양토 0.1%의 순으로 나타났다. 그리고 암석지와 석력지 등의 기타가 3.3%를 차지하고 있다[Figure 4(c)].

4) 지역별 토양 분포

지역별 산림토양의 분포는 전반적으로 갈색산림토양이 주를 이루고 있으나, 강원도 지역은 석회암을 모재로 하는 암적색토양이 21.5%로 나타나고 있으며, 경남북지역은 암적색산림토양 23.3% 회갈색산림토양 19.8%로 다른 지역에 비해 높게 나타나고 있다(Table 3). 이는 경남북지역의 모양이 다른 지역에 비해 퇴적암을 모재로 생성된 토양이 널리 분포하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 적황색산림토양은 충남 해안지역 일부에 분포하며, 현무암을 모재로 하는 제주지역은 화산회토가 81%로 주를 이루며, 기타 암석지와 암쇄토가 한라산 주변에 주로 분포하는 것으로 나타났다.

경기도의 경우 93.6%가 갈색산림토양으로 주를 이루고, 침식토양이 3%로 전국 평균보다 높게 나타났다. 전라남도 와 광주광역시에는 갈색산림토양 81.5%, 회갈색산림토양 12.3%, 암석지 2.8%, 암적색산림토양 2.0%, 침식토양 0.2%, 암쇄토양 0.4% 등의 순으로 나타나, 회갈색산림토양의 분포가 전국 평균의 약 2배를 기록하였다. 전라북도의 토양 분포는 갈색산림토양 84.2%, 회갈색산림토양 9.0%, 암석지 3.3%, 암쇄토양 1.4%, 암적색산림토양 0.9%, 침식토양 0.1% 등의 순으로 나타났다. 지역적 특징으로는 회갈색산

림토양의 비율이 높고, 암석지의 분포 비율이 전국에서 가장 높게 나타났다. 충청남도는 갈색산림토양 94.6%, 암석지 2.9%, 적황색산림토양 0.4%, 암적색산림토양 0.4%, 미숙토양 0.4%, 암쇄토양 0.3%, 침식토양 0.1% 등의 순으로 갈색산림토양의 분포가 높고, 해안지역에서 적황색산림토양과 미숙토양의 비율이 다른 지역에 비해 높게 나타났다. 충청북도는 갈색산림토양 84.4%, 암적색산림토양 11.2%, 암석지 2.0%, 침식토양 0.6%, 암쇄토양 0.7%, 회갈색산림토양 0.1% 등의 순으로 나타났다.

한편 산림입지토양도 제작을 위해 조사한 포인트는 16,390개소이며, 여기에서 22,831개의 토양 시료를 채취하였다. 시료는 도엽 단위 주요 토양형에 따라 A층 및 B층에서 채취하였고, 입도와 산도 분석을 수행하였다. 향후 토양 탄소분석에 대한 계획에 따라 잔여 토양은 한국임업진흥원에서 보관하고 있다.

산림입지토양도 활용 방안

1. 주제도 제작

주제도는 특정한 주제를 세밀하게 표현할 목적으로 구축되는 지도이며, 이용자들의 수요나 새로운 정보 제공의 필요성 등에 따라 다양하게 제작된다. 산림입지토양도는 다양한 주제도를 제작하는 데 기초자료로 활용되고 있다. 미국에서는 산림입지토양도의 속성을 이용하여 Interactive Travel Map, National Overview Map, Topographic Map, Active Fire Map, Forest Visitor Maps, Motor Vehicle Use Maps

Table 3. Distribution of the forest soil group.

(area: ha, ratio: %)

Region	Total	B	R-Y	DR	GrB	Va	Er	Im	Li	R	Other	
Korea	Area	5,893,823.2	4,554,316.7	3,317.5	605,745.7	383,360.4	69,268.0	59,442.7	3,696.9	40,559.1	105,562.6	68,553.6
	Ratio	100.0	77.2	0.0	10.3	6.5	1.2	1.0	0.1	0.7	1.8	1.2
Gangwon	Area	1,168,127.2	886,193.7	0.0	250,637.8	716.9	47.5	2,325.5	446.0	6,660.4	7,950.7	13,148.7
	Ratio	100.0	75.9	0.0	21.5	0.1	0.0	0.2	0.0	0.6	0.7	1.1
Gyeonggi	Area	437,614.6	409,630.5	640.1	631.5	63.1	21.3	12,984.7	217.3	2,677.1	6,860.3	3,888.7
	Ratio	100.0	93.6	0.1	0.1	0.0	0.0	3.0	0.0	0.6	1.6	0.9
Gyeongnam	Area	691,916.5	579,700.6	0.0	43,820.7	35,869.8	0.0	7,170.6	336.7	4,079.1	12,812.7	8,126.3
	Ratio	100.0	83.8	0.0	6.3	5.2	0.0	1.0	0.0	0.6	1.9	1.2
Gyeongbuk	Area	1,358,004.4	857,913.0	12.5	230,218.2	197,892.0	5,653.0	24,229.6	376.6	6,488.5	19,181.1	16,039.9
	Ratio	100.0	63.2	0.0	17.0	14.6	0.4	1.8	0.0	0.5	1.4	1.2
Gwangju	Area	17,301.3	15,975.8	0.0	219.6	326.0	0.0	8.6	0.7	273.4	404.6	92.6
	Ratio	100.0	92.3	0.0	1.3	1.9	0.0	0.0	0.0	1.6	2.3	0.5
Daegu	Area	47,824.7	32,468.8	0.0	3,448.2	10,088.1	0.0	206.5		250.7	968.5	393.9
	Ratio	100.0	67.9	0.0	7.2	21.1	0.0	0.4	0.0	0.5	2.0	0.8
Daejeon	Area	27,884.0	26,630.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5		32.3	948.3	261.1
	Ratio	100.0	95.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.4	0.9
Busan	Area	34,049.1	27,592.2	0.0	519.5	4,266.3	0.0	608.4	1.7	95.2	452.5	513.3
	Ratio	100.0	81.0	0.0	1.5	12.5	0.0	1.8	0.0	0.3	1.3	1.5
Seoul	Area	14,840.3	6,423.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5,939.2	211.7	1,132.9	957.5	175.4
	Ratio	100.0	43.3	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	1.4	7.6	6.5	1.2
Sejong	Area	22,359.1	21,322.4	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9		0.0	794.1	213.7
	Ratio	100.0	95.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	3.6	1.0
Ulsan	Area	64,981.4	42,494.7	0.0	3,185.1	16,465.3	0.0	286.4	4.9	733.6	988.5	822.9
	Ratio	100.0	65.4	0.0	4.9	25.3	0.0	0.4	0.0	1.1	1.5	1.3
Incheon	Area	9,429.0	8,654.0	13.5	0.0	0.0	0.0	268.2	204.7	91.7	136.9	60.0
	Ratio	100.0	91.8	0.1	0.0	0.0	0.0	2.8	2.2	1.0	1.5	0.6
Jeonnam	Area	642,673.4	523,516.9	171.8	13,308.0	79,054.1	0.0	1,307.0	182.8	2,334.5	16,747.7	6,050.6
	Ratio	100.0	81.5	0.0	2.1	12.3	0.0	0.2	0.0	0.4	2.6	0.9
Jeonbuk	Area	423,004.4	356,133.4	650.0	3,681.5	38,206.3	0.0	331.5	126.0	6,023.9	13,921.1	3,930.7
	Ratio	100.0	84.2	0.2	0.9	9.0	0.0	0.1	0.0	1.4	3.3	0.9
Jeju	Area	78,361.7	0.0	49.4	0.0	0.0	63,546.2	303.9	91.8	5,086.5	2,190.5	7,093.4
	Ratio	100.0	0.0	0.1	0.0	0.0	81.1	0.4	0.1	6.5	2.8	9.1
Chungnam	Area	368,902.8	348,948.9	1,780.2	1,527.6	2.1	0.0	500.5	1,496.0	1,192.6	10,635.4	2,819.5
	Ratio	100.0	94.6	0.5	0.4	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	2.9	0.8
Chungbuk	Area	486,549.3	410,717.4	0.0	54,548.0	410.4	0.0	2,931.7		3,406.7	9,612.2	4,922.9
	Ratio	100.0	84.4	0.0	11.2	0.1	0.0	0.6	0.0	0.7	2.0	1.0

등을 제작하고 있다. 우리나라에서도 토양 산도(pH) 주제도, 산림토양 탄소흡수원 주제도, 산림토양건강도, 임지생산능력급수도 등을 제작하는데 산림입지토양도의 속성자료를 사용하고 있다(Korea Forestry Promotion Institute, 2018).

1) 토양 산도(pH)

토양 산도(pH)는 각종 양분의 유효도, 유해물질의 용해도, 식물 뿌리, 그리고 미생물 체내의 생리 화학반응 등에

영향을 미친다. 이러한 이유로 조림 수종의 선정 및 관리 등을 위하여 허용 가능한 토양 산도를 유지하는데 산성토양도는 매우 중요한 주제도이다. 2009년부터 2021년까지 산림입지토양도 사업에서 확보된 전국 규모의 토양 시료에 대한 토양 산도 분석이 이루어졌으며 공간정보로 구축되어 이를 이용하여 토양 산도 주제도를 제작할 수 있다. 한편 우리나라에서는 지역별로 산림 내 토양 산도 개선에 필요한 석회량이 산정되어 있지 않아 석회 시용을 통한

토양 산도 개선방안 및 정책 수립이 어려운 실정이다(Korea Forestry Promotion Institute, 2019). 따라서 산성화된 산림 토양의 중화에 필요한 석회량을 계산하여 산림 석회 주제를 개발하고, 이를 바탕으로 석회 시용을 통한 산림토양 산도 및 수목 생육환경 개선에 활용되어야 한다.

2) 산림토양 탄소흡수원

탄소 배출량 규제와 함께 탄소 저장고로 알려진 산림생태계의 역할과 중요성이 대두되면서 기후변화에 따른 산림생태계 탄소저장량의 변화에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 산림에 저장된 탄소는 바이오매스, 낙엽층, 고사목, 토양 탄소 등으로 구분할 수 있으며, 토양 탄소(45%), 바이오매스(42%), 고사목(8%), 낙엽층(5%) 순으로 저장된 탄소의 양이 많다(Korea Forestry Promotion Institute, 2019). 우리나라의 경우 임업통계연보 및 산림기본통계 등을 통하여 임분 재적 등의 자료를 전국 단위로 기록하여 관리하고 있으나, 토양 탄소저장량 부분은 아직 자료가 부족한 실정이다(Korea Forestry Promotion Institute, 2019). 산림토양은 탄소흡수원으로서의 높은 가치를 가지고 있으나 이에 대한 정보가 부족하므로 산림토양 유기물 공간정보를 활용한 산림토양 탄소흡수원 주제도 개발이 요구되고 있다. 또한 산림입지토양도의 속성정보를 이용하여 토양형, 유기물층, 토양 산도, 토심, 토성 등의 조건에 따른 전국 규모의 산림토양탄소저장량을 지도화하고, 산림토양 탄소 저장량 변화에 대한 대책 마련에 활용할 필요가 있다.

3) 산림토양건강도

지속가능한 산림경영을 위해서는 산림의 건전도를 객관적으로 판단할 수 있는 평가체계가 마련되어야 한다. 이를 위해 산림 건강과 관련된 지표개발, 기준설정, 관계성 해명, 진단모델 개발, 관리시스템 구축 등의 일련의 관리체계가 필요하다(Lee, 2009). 토양 건강은 전체 산림 건강의 기반이 되며 생물 활동에 필요한 양분 및 수분의 공급 기능과 관련된 토양 특성이 주요 판단 지표로 이용되고 있다. 이러한 토양 건강 지표 중 토양의 물리성 지표는 주로 배수 및 뿌리 발달 등을 판단하는 기준이 되며, 화학성 지표는 양분 균형 및 유해 독성 등을, 그리고 생물적 지표는 토양생물 활성 등과 관련된 정보를 제공하게 된다. 산림입지토양도 사업을 통하여 공간정보로 구축된 토성, 토심, 산도, 유기물, 질소 등의 다양한 속성정보는 수목 건강과 밀접한 관련이 있으므로 많은 연구 자료로 활용될 수 있고, 산림토양건강도를 파악하는데 중요한 기초자료가 된다.

4) 임지생산능력급수도

임지생산능력급수도는 임목 생장에 영향을 주는 토심,

지형, 건습도, 경사, 퇴적양식, 침식, 견밀도, 그리고 토성의 총 8가지 인자를 종합적으로 평가하여 적용되고 있다. 이러한 인자들을 조사하여 입지인자별 점수 합계에 의하여 임지의 잠재 생산능력급수를 I급지에서 V급지로 구분함으로써 객관적으로 지력을 분류하여 적지적수를 기후대별로 선정할 수 있다. 이 방법은 국토의 치산녹화와 산림자원 조성계획의 일환으로 전국을 대상으로 1974년부터 1976년까지 산림자원조사연구소에서 적지적수 및 수종갱신사업에 개략적으로 적용하기 위하여 시행되었다. 과거에 작성된 1:25,000 축척의 경우에는 모든 속성을 포함하고 있으며, 1:5,000 축척에도 총 8개의 인자가 포함되어 있다. 따라서 산림입지토양도를 활용하여 임지생산능력수급도 작성이 가능하며, 추후 공간정보로 구성되는 양이온치환용량, 치환성양이온, 전질소, 유기물함량 등과 같이 토양의 비옥도를 판정하는 인자를 임지생산능력급수에 추가하여 활용할 수 있다.

2. 산림재해방지

1) 산사태위험지도 제작 및 산사태 위험등급 판정

산사태위험지도는 산사태 취약지역 실태조사, 사방댐 등 예방사업 실행, 낙석 및 산사태 방재 시스템 구축, 산사태 취약지 결정, 산지 사면안정 해석, 산지 토양침식 관리, 산지 토양보존계획 등에 기초자료로 활용되는 주제도이다(Korea Forestry Promotion Institute, 2018). 산림청은 산사태 관리를 위한 산림행정업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 산사태 관련 정보를 종합적으로 관리 및 지원하는 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 산사태정보시스템은 기상청 강우 자료를 분석하고 권역별 산사태 토양함수지수(예측기준)를 분석하여 읍, 면, 동 단위로 산사태 예측정보를 제공한다. 또한 웹 GIS 서비스를 통하여 위치검색이 가능한 산사태 위험지도 등 주제도를 제공하며, 시간별 산사태 위험 예측정보를 지도상에서 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 이러한 산사태 위험지도를 제작하기 위해서는 다양한 산사태 발생 인자 중 영향이 큰 인자를 선정하여야 한다. 산사태 위험지도는 임상, 경급, 사면경사, 사면방위, 사면길이, 사면곡률, 모암, 토심, 지형습윤지수(TWI)의 인자를 기준으로 지도가 제작되며, 이때 임상도 및 산림입지토양도의 모암과 토심 정보가 활용된다(Korea Forestry Promotion Institute, 2019). 2019년에는 산사태 위험등급 판정 시 입력 인자 현행화에 따라 산사태 위험등급을 재조정하여 2020년 3월 산사태정보시스템에 반영하였다. 그러나 산사태위험지도는 산사태에 영향을 미치는 다양한 요인에 비해 9개의 적은 인자만 적용하여 제작된다는 한계를 지니고 있다. 따라서 국소지역의 토양 물리성(단위중량, 전단강도, 투수계수) 등 다른 요인을 지속적인

로 추가 반영하여 정확도를 높일 필요가 있다.

2) 산불 발생지역의 잠재적 토양침식 예측

산불에 의해 식생이 소실되고 토양의 반발수성이 증가한 산지 환경 급변지역에서는 강우의 침투능 저하와 지표 유출이 가중되어 토양의 침식 및 토사의 유출을 증가시키게 된다. 침식량을 산정하기 위해 외국의 모델을 주로 사용하고 있으나, 실제 우리나라 산지의 지형, 지질, 식생, 기후 등의 적용에 한계를 가지고 있다. 재해 및 환경 변화에 관한 법률에는 개발사업에 따라 증가하는 토사 유출량을 평가하여 저감하도록 규정하고 있으나, 국내의 관측 자료를 바탕으로 검증된 예측모형이 미비하여 과대 또는 과소 설계의 원인이 되고 있다. 특히 강원도와 같이 산림면적이 높은 지역의 경우 빈번한 산불로 인해 산림생태뿐만 아니라 산림 수문특성의 변화를 가져왔으며, 식생의 변화로 집중호우에 의해 발생하는 토석류에 따른 재해 위험성이 가중되고 있다(Bae, 2011). 산불 발생지역의 잠재적 토양침식을 예측하기 위해서는 우리나라 산지 환경에 특화된 예측모형의 개발이 필요하며 이를 위해서는 임상 정보, 토양 정보, 지형 정보, 기후 정보 등 다양한 자료의 축적 및 제공이 요구된다. 따라서 산림입지도양도의 토성, 토심, 지형, 경사형태, 배수상태 등 다양한 속성 정보는 한국형 토양침식 예측모형 개발에 추가 인자로 제시될 수 있다. 이외에도 초기포화도, 투수계수, 전단강도, 그리고 공극률 등 토양침식에 영향을 주는 이용 가능한 자료의 추가적인 수집에 노력을 기울여야 한다.

3) 산불 예방 및 확산예측 시스템 고도화

산림을 적절하게 관리하지 않으면 밀도가 매우 높은 임분이 생기며 이는 산림 내 가연 물질 축적의 원인이 되며, 산불 발생 시 전이 및 확산의 위험성이 증대되어 대형 산불로 확대되는 계기가 된다. 산불확산을 유발하는 요인에는 지형(고도, 경사, 기복도), 기상(풍속, 습도), 연료(낙엽층, 관목층, 수관층) 등이 있다. 이 가운데 지형 및 기상 인자는 인위적 관리가 불가능하다. 그러나 산림 내 가연성 연료는 연소 시 매개 인자로 산불확산에 가장 큰 영향력을 가지며, 인위적인 관리를 통한 조절이 가능하다. 따라서 산림 내 연료의 구조와 특성을 분석하는 것은 산불확산 위험성과 확산 형태를 평가하는 데 중요하다(Koo et al., 2010; Lee et al., 2010; Kim, 2015). 우리나라 산불의 대부분은 지표화로 시작하여 수관화로 발전하기 때문에 지표면에 대한 정보를 제공하는 산림입지도양도 자료의 활용이 요구된다. 산림입지도양도는 지형, 경사형태, 배수상태, 유기물층 두께 등 산불 예방 및 확산예측과 관련한 다양한 정보를 포함하고 있어 산불의 발생위험도, 확산 강도와 속도 등을 예측

하는 플랫폼 구축을 위한 속성자료로 활용할 수 있다. 산불 발생위험 예측력을 높이기 위해 2021년 4월 7일부터 국가 산불위험예보시스템에서 시범 운영하고 있는 산림연료 습도 분포 지도는 전국 시군구 및 읍면동 등 행정구역 단위로 산림 내 사연료(dead fuel)에 포함된 수분의 분포를 매시간 제공하고 있다. 산림청은 산림연료 습도 분포 지도의 정확도 향상을 위해 전국적으로 운영 중인 산악기상관측망과 연계해 산림연료 습도 관측 지점을 확충할 계획에 있으며, 산림입지도양도의 속성 정보를 산림 연료 습도 추정에 활용하면 산불위험예측 정확도를 개선하고 산불 예방에 대한 기여도를 한층 높일 수 있다.

3. 환경용량 평가 및 수자원 관리

1) 생태학적 환경용량 평가

토양은 외부에서 어떤 물질이 토양에 가해질 때 그 영향을 최소화하는 완충 능력이 있으며 자연환경 및 생태계 유지에 있어 매우 다양한 기능을 한다. 특히 환경용량과 관련하여 토양은 식물의 생육에 필요한 양분과 수분의 공급자, 유독물질의 여과기, 쓰레기나 오물 등의 수용체 및 생물의 서식처를 제공하는 역할을 한다. 산림 내 물질의 생산과 품질은 토양의 능력 및 질에 따라 영향을 받기 때문에 이를 판단할 수 있는 근거를 마련해야 토양을 적절하게 유지 및 관리할 수 있다. 미국토양학회는 토양의 질을 자연계나 인공적인 생태계 안에서 식물과 동물의 생산성을 유지하게 하며, 수질을 유지 또는 개선하고, 인간의 건강과 거주를 지지하는 역할을 하는 토양의 용량이라고 정의하고 있다(Kim et al., 2006). 미국의 California, Nevada, Arizona, Florida, Ohio 주에서는 환경용량 평가에 토양정보를 적용하고 있으며, 환경용량의 개념이 사용되기 위해서는 환경용량 즉 대기질, 수질, 용수공급, 토양능력 등을 토대로 각 요소를 지표화하거나 정량적, 정성적인 정보를 제공해야 할 필요가 있다(Kim, 1999). 따라서 산림입지도양도 사업을 통해 공간정보로 구축된 토양의 물리화학적 특성정보는 지속가능한 산림경영에 필요한 토양의 능력을 평가하는 유용한 자료로 활용될 수 있다.

2) 산림 내 수자원함양 기능 평가 및 기능 증진

국토의 65%가 산림으로 이루어져 있는 우리나라의 경우 수자원의 안정적인 이용 측면에서 산림은 매우 중요한 역할을 한다. 산림은 증산작용으로 지표면의 열 환경을 완화 시키고, 산림의 변화는 지표의 열 환경을 변화시킬 뿐만 아니라 증산량을 감소시켜 물 순환을 변화시키므로(Kim, 2014), 간벌 및 수종갱신 등을 통해 가용 수자원을 증진할 수 있다. 최근 산림청과 수자원공사에서는 수원함양 기능이 빈약한 산림의 구조를 개량하여 산림의 수원함

양 기능을 증진하는 사업을 시행하고 있다. 산림입지토양도 사업에서 수집된 속성정보는 표고, 경사, 토심, 토성, 모암, 견밀도, 토양형 등을 포함하고 있으며 공간정보로 구축되어 있어 수자원함양의 잠재력 평가를 위한 자료를 제공함으로써 효과적인 수자원함양 기능 증진을 위한 전략 수립에 활용될 수 있다.

산림입지토양도의 발전 방안

1. 제6차 산림기본계획(2018-2035)과 산림입지토양도

1) 맞춤형 조림 및 경제림 단지 조성 프로그램

산림입지토양도에 기반을 둔 맞춤형 조림 및 경제림 단지 조성 프로그램은 제6차 산림기본계획의 기능과 용도별 산림자원 관리체계 확립의 목표 달성을 위한 기본자료로 제공될 수 있다. 기능과 용도별 산림자원관리체계에는 1) 지역·기후를 고려하여 경제성이 높은 대표 수종의 조림면적을 연 25,000 ha 규모로 확대하며, 2) 산림경영의 효율화를 위해 경제림 육성단지 내 조림 비율을 2016년 57%에서 2021년 70%로 확대하고, 3) 지역별 전략 수종 선정을 위해 기후대·산림입지·토양 등을 분석하여 맞춤형 조림을 시행하는 것이다(Korea Forest Service, 2019). 산림입지토양도를 기반으로 한 맞춤형 조림 지도나 경제림 단지 조성 프로그램의 개발은 사용자가 원하는 정보의 생산과 분석이 가능하고, 적지적수의 공간적 분포와 면적 등 산림정책 수립에 필요한 산림경영 정보를 제공하며, 산림입지환경 및 산림토양 단면에 대한 정성적, 정량적 분석자료는 산림경영을 위한 의사 결정에 도움을 줄 수 있다.

2) 산림훼손지 복원 및 산림유역관리 모델

산림입지토양도는 제6차 산림기본계획의 한반도 주요 산림훼손지 복원 중 산림생태계와 인과관계를 고려한 통합적 복원방식 실행과 산림재해 예방과 대응으로 국민안전 실현 중 산림수자원 및 산림 생태계서비스 증진을 위한 산림유역관리 계획 수립의 기초자료로 제공될 수 있다.

산림훼손지는 발생 장소가 다양하고 훼손의 형태 및 환경조건 등이 다르게 나타나기 때문에 입지환경 및 토양 특성에 기반을 둔 산림생태계와 산림경관 복원이 시행되어야 한다. 산림훼손지 식생 복원의 가장 중요한 요인은 토양 물리화학적 성질 개선으로 산림입지토양도는 산림훼손이 발생하기 전이나 인접지역의 식생 및 지하부 토양 환경정보를 제공함으로써 복원공법 결정이나 기준을 제시할 수 있다.

국제수문학 프로그램(International Hydrological Program)은 유역관리를 위한 주제도로써 토지 피복도, 토양도, 수치고도지도 등을 제시하고 있다. 그러나 산림지역은 수관

이나 유기물층에 의한 강우의 차단 및 이동이 발생하기 때문에 국제수문학 프로그램의 주제도를 산림유역관리에 직접 활용하기는 어렵다. 산림입지토양도는 유기물층의 깊이, 배수등급, 토심, 토성 등과 같은 토양단면에 대한 속성정보를 포함하고 있으므로, 이를 기반으로 우리나라 산림토양에 적합한 수문학적 모델의 제시가 가능할 것으로 판단된다.

3) 스마트 임업을 위한 산림입지토양도

산림입지토양도는 제6차 산림기본계획의 사유림과 함께 하는 국유림의 선도 역할 강화 중 ICT와 빅데이터 등을 활용한 스마트 국유림 경영 기반 구축, 4차 산업 기술의 산림 분야 적용 보편화 중 스마트 임업 플랫폼 구축으로 맞춤형 산림경영서비스 제공 및 ICT의 역기능 대응으로 안전한 미래형 산림 행정 환경 구축과 같은 스마트 임업을 위한 디지털 산림기반도로 제공될 수 있다. 스마트 임업의 개념은 명확하게 정리되지는 않았지만, 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷, 이동 인터넷, 빅데이터 등을 기반으로 하는 디지털 임업이 될 것으로 예측된다(Zou et al., 2019). 스마트 임업의 발달에 가장 기본이 되는 것은 산림입지토양도와 같은 정확하고 신뢰성 있는 산림 빅데이터를 확보하는 것이며, 이를 통해 산림경영과정에서 발생할 수 있는 다양한 문제점을 해결할 수 있다.

2. 정밀임업과 산림입지토양도

미래의 산림자원관리를 위해서는 첨단기술을 이용한 산림 생산 및 공공기능 네트워크화와 스마트 임업을 위한 공간정보 구축이 필요하다. 이를 위해서는 원격탐사, 지형정보시스템, 글로벌항측시스템, 데이터베이스 관리시스템, 자료 융합, 의사 결정 시스템, 변량기술 등을 기반으로 자료가 수집되어야 한다. 산림입지토양도는 원격탐사정보, 지형정보 및 위치정보 시스템과 같은 첨단 3S 기술(3S: RS, GIS, GPS)과 함께 현장조사 정보를 포함하고 있다.

정밀임업(precision forestry)의 발달에 가장 기본이 되는 것은 정확하고 신뢰성 있는 산림자료의 빅데이터 획득이다. 산림입지토양도의 위치 및 속성정보는 표준화된 현장조사방법을 통해 구축된 방대한 양의 공간분석 자료로 신뢰성이나 정확성이 매우 높으며, 시·공간적 속성의 산림자원 관리를 위한 가장 중요한 기본도면으로 제공할 수 있다.

1) 1:1,000 산림입지토양도 제작

인구 밀집지역인 정주지의 산림은 오랜 기간 인위적 교란이 심하여 침식토양군, 사방지 토양형, 갈색건조산림토양형 등이 주로 분포하고 있다. 이들 지역은 토양수분이나 양분 결핍에 따른 낮은 산림생산력과 산림 생태계서비스

기능이 빈약하며, 산림재해(산사태나 산불) 발생 시 인명 및 재산상 피해가 극심하다. 최근 정주지의 산림은 탄소흡수원 확충 및 미세먼지 저감 측면에서 중요성이 높아지고 있으나, 소면적 경관 단위에서도 거대한 복잡성과 변이성을 보이기 때문에 도시 숲, 공원녹지, 가로수 등의 정주지 산림관리를 위해서는 1:1,000 초정밀 산림입지토양도 제작이 필수적이다.

2) 토양단면 디지털 영상정보를 이용한 토양성질 해석 토양전문가에 의한 현장조사와 전통적인 방법에 따른 토양 성질의 결정은 시간, 비용, 노동력이 많이 투입된다. 이러한 문제점 때문에 수집된 결과의 분석 및 해석을 위해 디지털 영상처리 기법의 도입에 의한 토양 성질 예측 기술이 개발되고 있다(Viscarra et al., 2008; Chung et al., 2010; Kumar et al., 2014; Kirillova and Sileva, 2017; Sudha et al., 2017; Swetha et al., 2020). 산림입지토양도는 토양단면에 대한 디지털 영상정보와 함께 토양 성질에 대한 속성정보를 데이터베이스로 구축하고 있으며, 영상처리 기법의 개발에 의한 토양 성질 해석은 정밀임업과 지속 가능한 토양관리를 위한 기초자료로 제공될 수 있다.

3) 산림입지토양도의 3차원 지도화

토양의 물리화학적 성질은 깊이와 함께 연속적으로 변화하기 때문에 3차원의 공간정보 해석이 효율적이거나, 대부분 토양에 관한 공간정보는 2차원의 단면 형태로 제공되고 있다. 최근 토양도의 3차원 작도에 관한 관심이 증가하고 있으며(Hapca et al., 2015; Almebayedh et al., 2017), 세계 여러 나라에서는 고해상도 디지털 토양도를 이용한 3차원의 국가토양도 제작을 계획 중이다(Liu et al., 2020). 3차원의 산림입지토양도가 작도되면 토양 분석을 위해 채취해야 할 시료 수가 상당히 감소할 수 있으며 분석 결과에 대한 정밀도도 높아질 수 있다. 3차원의 산림입지토양도 제작은 산림 경영적인 면뿐만 아니라, 수자원 관리, 토양오염지 판정, 수문학적 모델의 정확도 향상, 과학적 산지시비 계획 수립, 토양침식 예측능력 향상 등의 기초자료로 제공될 수 있다.

3. 디지털 뉴딜과 산림입지토양도

2020년 7월 정부 관계부처 합동으로 경제구조 고도화와 지속 가능한 일자리 창출을 목표로 발표한 한국판 뉴딜은 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜의 두 축으로 구성되어 있다(Park, 2020). 이 중 디지털 뉴딜은 4차 산업혁명 시대 대응을 위한 빅데이터(D, Data), 초연결(N, Network), 인공지능(A, AI)으로 D·N·A 기반 디지털 혁신은 국가 경제 사회 전반의 디지털 전환을 모색하기 위한 전략과 데이터 기반 성장의

핵심주체로 대두될 전망이다(Park, 2020).

1) K-포레스트와 산림입지토양도

K-포레스트는 산림산업을 통하여 일자리를 창출하는 한국판 뉴딜정책이라 할 수 있으며, K-포레스트에 의한 디지털 포레스트(digital forest)는 산림데이터의 수집, 융합, 개방 및 활용 등과 관련한 전주기 인프라 구축으로 디지털 사회로 전환에 부응하는 것을 목표로 하고 있다(Korea Forest Service, 2020). K-포레스트는 4개의 뉴노멀 전략과 16개의 중점과제로 구성되어 있으며, 산림데이터 활용을 위한 디지털 산림경영 기반구축과 지능형 산림재해 관리로 촘촘한 안전망 구축, 경제림육성단지 재편으로 경영구조 선진화, 산림의 탄소 흡수·감축 기능증진으로 기후변화 대응 등은 산림입지토양도가 보유한 산림조사 활동 데이터의 활용을 통하여 가치 창출이 가능하다(Korea Forest Service, 2020).

(1) 산림데이터 활용을 위한 디지털 산림경영 기반구축과 산림입지토양도

산림경영활동은 생태적, 경제적, 사회적으로 매우 복잡한 시스템으로 구성되어 있어서 합리적인 산림경영관리를 위해서는 디지털 데이터 사이에 통합이 이루어져야 한다. 2008년부터 2021년까지 전국 산림지역을 대상으로 현장조사를 통하여 획득된 많은 양의 입지환경 및 토양단면 빅데이터를 효율적으로 활용하기 위해서는 국가산림자원조사, 국유임소반도, 임도망도, 임상도 등과 같은 산림 분야 디지털 데이터와 공유가 필요하다. 또한, 산림입지토양도의 공간정보는 조림, 숲가꾸기, 벌채, 임도 및 사방 등의 사업 설계·시공·감리, 산림생태계 취약지 구분, 산림작업기계의 사용 적합성 여부 판정을 위한 의사 결정 지원체계를 구축할 수 있다.

(2) 지능형 산림재해 관리로 촘촘한 안전망 구축과 산림입지토양도

지구온난화나 기후변화 등과 같은 지구환경의 급격한 변화로 인하여 산림재해의 정확한 예측이 현실적으로 불가능해지고 있다. 또한, 산림재해 예방에 현재의 인력 중심의 대응은 한계가 있으며, 공간적으로 넓은 범위에서 발생하는 산림재해에 대한 예방 효과는 크지 않은 편이다. 따라서, 대규모 산림재해의 정확한 예측과 장기적인 산림재해 관리체계 구축, 신속하고 안전한 대응 및 국민안전 확보를 위해서는 산림입지토양도의 공간정보를 활용한 지능형·기술집약형 산림재해 관리가 필요하다. 예를 들면, 강원도 주문진읍의 경우 지형요소, 수문요소, 산림입지토양도(1:5,000), 지질도(1:25,000)를 이용하여 산사태 예

측모델을 개발한 결과 모델의 정확도가 80% 정도로 높게 나타난 바 있다(Park et al., 2018).

(3) 경제림육성단지 재편으로 경영구조 선진화와 산림 입지토양도

세계적인 보호무역주의에 대비하고 국산 목재 및 임산물의 안정적인 공급을 위해 산림청은 2035년까지 경제림육성단지의 재편을 통하여 국내재의 70%를 공급할 계획을 목표로 하고 있다(Korea Forest Service, 2020). 이러한 목표 달성을 위해서는 경제림육성단지(2,340,000 ha)와 임업진흥권역(1,180,000 ha)을 대상으로 산림입지환경 요인과 산림경영여건 및 집단지 가능성에 대한 빅데이터를 분석하고 적지적수 선정 프로그램을 이용하여 산림경영 최적지를 산출하는 것이 필요하다.

(4) 산림의 탄소 흡수·감축 기능증진으로 기후변화 대응과 산림입지토양도

산림청은 2030 국가 온실가스 감축 목표 달성과 산림으로부터 탄소흡수량(국가감축 목표의 7%인 22.1백만톤) 확보를 위해 산림갱신, 도시숲 조성, 산림바이오매스 활용 등을 계획하고 있다(Korea Forest Service, 2020). 산림입지 토양도는 산림 탄소흡수력 증진을 위한 숲가꾸기 및 불량 활엽수림의 수종갱신지 선정 정보를 제공할 뿐만 아니라, 산림생산력과 밀접한 관련이 있는 소규모 경관 단위의 지하부 토양 탄소저장량 평가 등이 가능하다. 산림토양의 탄소는 토양의 질적 성질을 결정하는 가장 중요한 요소일 뿐만 아니라, 탄소저장량 증진을 통하여 기후변화를 완화할 수 있는 것으로 알려져 있다(Jeong, 2018). 국내에서도 디지털 토양도를 이용하여 전라남도 진도군의 토양 탄소저장량 예측모델이 개발된 바 있으며, 토양단면의 모래, 미사, 점토함량 등은 탄소저장량 예측모델에 중요한 변수로 포함된 바 있다(Jeong, 2018).

4. 디지털산림입지토양도(Digital Soil Mapping; DSM)

Digital Soil Mapping (DSM)은 특정 지역의 환경정보와 현장 및 실험실에서 얻은 토양 속성 측정치 사이의 정량적 관계를 기반으로 공간토양 데이터베이스를 구축하고, 토양도를 제작하는 기술이다(McBratney et al., 2003). 특정 지역의 환경정보는 지질, 지형, 기후, 식생 등 토양 형성에 영향을 미치는 인자들로 구성되며, DSM은 해당 인자들과 토양 속성을 수학적 및 통계적 모델에 대입하여 요소들 사이의 상관관계를 분석하고 토양 속성의 공간적 분포를 예측한다.

1) DSM의 개요

토양도 제작의 과학적 근간은 1941년 토양학자 Hans

Jenny가 개발한 개념적 모델로, 특정 경관의 토양(S)은 5가지 환경인자(토양형성인자)인 기후(climate; cl), 유기체(organisms; o), 지형(relief; r), 모재(parent material; p), 시간(time; t)에 의해 결정된다는 내용이다. Jenny의 모델은 환경인자들의 약자를 조합한 CLORPT 모델이라고도 알려져 있다. 이 모델은 오랜 기간 토양도 제작을 위한 개념적 근간이 되어왔으나, 환경인자와 토양 속성 간의 연관성을 정량적으로 표현하지 못한다는 한계가 있다. 이와 같은 한계를 보완하기 위해 McBratney et al. (2003)은 특정 공간에서의 토양 등급(soil classes; Sc) 또는 토양 속성(soil attributes; Sa)이 토양(soil; s), 기후(climate; c), 유기체(organisms; o), 지형(relief; r), 모재(parent material; p), 시간(age; a), 공간적 위치(spatial location; n) 총 7가지 환경공변량들의 경험적이고 정량적 함수라는 SCORPAN 모델을 제안하였다. 현재 DSM은 이 모델을 공간토양정보 예측에 이용하고 있다. 2000년대 전후 컴퓨터 기술이 발달하여 대량의 정보를 빠르게 처리할 수 있게 되고, 지리정보시스템, 전지구위치확인시스템, 디지털고도모델, 예측 또는 추론 모델, 데이터 분석용 소프트웨어 등의 가용성과 접근성이 증가함에 따라 효율적으로 지질, 지형 또는 초목과 관련된 환경인자를 식별할 수 있게 되면서 토양 조사 기술이 크게 발전하였으며, DSM의 개발 및 보급도 증가하고 있다.

2) DSM의 필요성

우리나라 토양도 개발 및 보급 체계에 DSM 기술의 도입으로 기존의 토양도 개발 체계가 갖는 여러 한계점을 보완할 수 있다. 기존 토양도 제작 방식이 갖는 단점은 다음과 같다. 첫째, 현장조사를 기반으로 자료를 확보하기 때문에 토양도 제작에 시간과 비용이 많이 소요되며, 토양도를 제작한 이후 수정사항을 반영하는 것에도 오랜 시간이 소요된다. 둘째, 확보할 수 있는 단위 자료가 폴리곤 형태이며, 경계와 구획으로 나누어져 있어 연속적인 토양 속성의 변이를 반영하기 어렵다. 셋째, 기존의 토양도는 기후, 경관, 수문 현상 등을 모의할 수 있는 토양 속성에 대한 정보가 부족하다(Park et al., 2010). 현장에서 직접 채취한 토양 시료를 실험실에서 분석하고 그 속성을 바탕으로 불연속적인 토양정보를 종합하여 토양도를 제작하는 기존의 방식과는 달리, DSM은 모델을 구동하여 토양 속성을 추론하기 때문에 현장 자료가 필수적이지 않다. 따라서 접근이 어려운 지역 또는 넓은 지리적 범위에서 저렴한 비용과 높은 효율로 토양도를 제작할 수 있다. 또한 DSM은 토양도 제작에 더하여 예측한 토양 속성의 불확실성을 추정할 수 있으며, 과거 토양 조사 결과의 수정 및 갱신, 특정 토양 속성의 추가적인 해석 및 추론 등에도

사용할 수 있다(Carré et al., 2007).

3) DSM 활용 사례

국내에서는 USDA의 토양분류법에 따라 일반 토양 조사가 이루어졌으며, 이를 바탕으로 만들어진 토양도를 전산화하여 활용하고 있다. 이후 DSM 기술을 도입하고자 기존 토양도를 참고하여 토양유기탄소 및 토성 자료에 대한 6개의 표준깊이별 Digital Soil Map을 작성한 바 있다(Hong et al., 2008, 2012).

국제적으로 IUSS (International Union of Soil Sciences)의 Digital Soil Mapping Working Group이 2004년 프랑스 몽펠리에에서 첫 번째 국제 DSM 워크숍을 통해 결성되었고, 2006년 개최된 두 번째 워크숍 이후 GlobalSoilMap 프로젝트가 시작되었다(Arrouays et al., 2014, Hempel et al., 2014). 미국에서는 National Soil Survey Center 소속 GRU (Geospatial Research Unit)의 지원을 받아 Florida, Washington 등 8개 주에서 약 30개 지역의 Digital Soil Map을 개발하였다(Kienast-Brown et al., 2021). UNEP, FAO, ISRIC가 협력하여 여러 국가 및 지역의 Digital Soil Map을 제작하는 SOTER (Soils and Terrain Digital Database) 프로젝트를 추진하였다. 이 프로젝트를 통해 남아메리카, 남부 및 중앙아프리카, 동부 및 중부 유럽을 포함한 전 세계 여러 지역의 토양 및 지형 특성을 나타내는 토양 등급 지도가 개발되었다(Grunwald et al., 2011).

4) DSM의 한계 및 시사점

지금까지 DSM 연구는 대부분 농업 부문에서 활용하기 위한 초미세 해상도의 토양도 개발에 중점을 두었다. DSM의 한계는 토양 속성을 추정한다는 데 있으며, 추정치의 정확도를 평가하는 가장 명확한 방법은 토양 시료 속성의 실측값과 DSM의 추정치를 비교하여 일치도를 확인하는 것이다. DSM 기술을 통한 토양 속성 예측은 추론의 불확실성을 줄이기 위해 수집한 토양 및 환경 공변량에 대한 데이터가 가능한 적은 전처리와 가공을 거쳐서 조합이 되고, 구동할 모델과 호환이 가능해야 한다. 따라서 데이터 수집의 측면, 또한 정밀한 추론 모델의 측면에서 개선점이 있다. 그리고 DSM은 전 세계적으로 확산되었지만 아직 여러 국가와 지역에서 전문인력의 부족으로 인해 제대로 활용되고 있지 않다. DSM 관련 토양학 전문가가 부족하여 현재 DSM은 토양학 이외의 다른 분야의 과학자에 의해 연구 및 개발이 진행되고 있는 실정이다(Zeraatpisheh et al., 2020).

5) 전문인력 양성 및 훈련

2009년 1:5,000 산림입지토양도 제작사업에 투입된 인

력 51명 중 산림입지토양도 조사 경험이 있는 인력은 40%가 되지 않아 전문성 확보를 위한 교육 훈련프로그램을 계획하였다. 2010년 산림입지토양도 제작에 필요한 기초 지식과 실무기술을 습득함으로써 전문성 제고 및 고품질 산림입지토양도 제작을 위한 목표를 세우고 실무담당자를 중심으로 2회에 걸쳐 60명의 교육을 시행하였으며, 2010년과 2011년에 산림인력개발원에서 산림토양의 이해부터 기획, 조사요령까지 산림입지토양도 제작 공정에 대한 실습 위주로 전문가 양성 교육을 수행하였다. 그러나 이렇게 양성된 전문가들의 이직율이 매우 높아 산림입지토양도 제작을 위한 현지 조사 인력의 전문성은 낮은 실정이다. 따라서 지속적으로 전문가를 양성하고 훈련하는 동시에 이들 전문가가 활동할 수 있는 여건이 마련되어야 할 것이다. 한편 현재까지의 교육프로그램은 산림입지토양도 제작을 중심으로 수립하였으나, 향후 토양 탄소흡수원 및 토지적성평가 등에 대한 전문가를 양성할 수 있는 교육과정도 필요하다.

결론

본 연구에서는 우리나라 정밀 산림입지토양도(1:5,000)의 제작과정 및 주요 결과와 이에 따른 활용 및 발전 방안을 제시하였다. 산림입지토양도는 주제도 제작, 산림재해 방지, 환경용량 평가 및 수자원 관리에 활용될 수 있다. 또한, 다양한 속성정보의 통계적인 분석을 통한 정확도의 개선과 함께 지속적인 활용을 위한 관리 및 보완이 필요할 것으로 판단된다. 미래의 산림자원관리를 위해서는 첨단 기술을 이용한 정보 구축의 필요성이 대두되고 있으므로, 산림입지토양도 또한 이에 발맞추어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 다음과 같은 산림입지토양도의 5가지 발전 방안을 제시하였다. 산림입지토양도에 기반을 둔 맞춤형 조림 및 경제림 단지 조성 프로그램을 제6차 산림기본계획의 기본 자료로 선정하고, 정밀입지의 발달을 위한 데이터를 제공하며, 디지털 뉴딜에 따른 디지털 산림경영 기반의 구축 및 디지털산림입지토양도 기술 도입, 그리고 산림토양 분야 전문인력 양성 및 훈련을 통한 발전 가능성 등이 이에 해당된다.

References

- Almebayedh, H., Lin, C., Wang, Y., Aimumin, M. and Albader, M. 2017. 3D mapping technology for soil characterization of Kuwait hydrocarbon contaminated sites. Proceedings of the 3rd World Congress on New Technologies ICEPR pp. 173.

- Arrouays, D., et al. 2014. GlobalSoilMap: Toward a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in Agronomy* 125: 93-134.
- Bae, J.G. 2011. A study of sediment yields in a small fired forest basin. (Dissertation). Gyeongsangbuk-do. Yeungnam University. (in Korean)
- Brevik, E.C., Calzolari, C., Miller, B.A., Pereira, P., Kabala, C., Baumgarten, A. and Jordán, A. 2016. Soil mapping, classification, and modeling: History and future directions. *Geoderma* 264(B): 256-274.
- Carré, F., McBratney, A.B., Mayr, T. and Montanarella, L. 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma* 142(1-2): 69-79.
- Chung, T.H. and Lee, W.C. 1965. A study of the Korean woody plant zone and favorable region for the growth and proper species. *Journal of Sungkyunkwan University* 10: 329-435.
- Chung, S.O., Cho, K.H., Kong, J.W., Sudduth, K.A. and Jung, K.Y. 2010. Soil texture classification algorithm using RGB characteristics of soil images. *IFAC Proceeding Volumes* 43(26): 34-38.
- Forest Research Institute. 1972. Reports of Forest Soil Survey. pp. 125. (in Korean)
- Forest Research Institute. 1976. Reports of Reconnaissance Forest Soil Survey. pp. 77. (in Korean)
- Friedlingstein, P. et al. 2020. Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data* 12(4): 3269-3340.
- Grunwald, S., Thompson, J.A. and Boettinger, J.L. 2011. Digital soil mapping and modeling at continental scales: Finding solutions for global issues. *Soil Science Society of America Journal* 75(4): 1201-1213.
- Hapca, S., Baveye, P.C., Wilson, C., Lark, R.M. and Otten, W. 2015. Three-dimensional mapping of soil chemical characteristics at micrometric scale by combining 2D SEM-EDX data and 3D X-ray CT images. *PLoS One* 10(9): e0137205.
- Hempel, J.W., McBratney, A.B., Arrouays, D., McKenzie, N.J. and Hartemink, A.E. 2014. GlobalSoilMap project history. pp. 3-8. In: Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., Richer de Forges, A. and McBratney, A. (Eds.). *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System*, CRC Press.
- Hirokuma. 1913. Reports on Korea's Forests. Forest Division in Japan. pp. 216. (in Japanese)
- Hong, S.Y. et al. 2011. Soil information system 'Heug-Toram'. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 27-40. (in Korean)
- Hong, S.Y., Kim, Y.H., Han, K.H., Hyun, B.K., Zhang, Y.S., Song, K.C., Minasny, B. and McBratney, A.B. 2012. Digital Soil mapping of soil properties for Korean soils. *Digital Soil Assessments and Beyond. Proceedings of the Fifth Global Workshop on Digital Soil Mapping* pp. 435-438.
- Hong, S.Y. et al. 2008. Development of soil information system and its application in Korea. *Food & Fertilizer Technology Center Extension Bulletin* pp. 612.
- Jeong, G.Y. 2018. Spatial prediction and economic evaluation of soil carbon stocks using digital soil mapping in an agricultural landscape. *The Geographical Journal of Korea* 52(3): 389-401. (in Korean)
- Jeong, J.H., Kim, T.H., Koo, K.S. and Cha., S.H. 1994. Classification of forest soil in Korea and soil properties and its relation with tree growth of brown forest soil group. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 65(5): 483-492. (in Japanese)
- Jeong, J.H., Koo, K.S., Lee, C.H. and Kim, C.S. 2002. Physico-chemical properties of Korea forest soils by regions. *Journal Korean Forestry Society* 91(6): 694-700. (in Korean)
- Kang, Y.H. 2003. Historical documents on proper tree selection system during the periods of Chosun dynasty and under the Japanese rule. *The Korean Journal of Ecology* 26(6): 341-347. (in Korean)
- Kawasima. 1939. Soil type of Hamkyungnamdo in Korea. *Journal of Soil Science in Japan* 13: 257-269. (in Japanese)
- Kienast-Brown, S., Libohova, Z., Boettinger, J. and USDA-NRCS. 2021. United States Department of Agriculture. Washington D.C., USA. https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054255#stages
- Kim, G.H. et al. 2006. *Soil Science*. Hyangmoonsa. Seoul. South Korea. pp. 450. (in Korean)
- Kim, M.R. 2014. A study on the method establishing protected areas for hydrological ecosystem services: Focused on the Jangheung dam watershed. (Dissertation). Seoul. Seoul National University. (in Korean)
- Kim, S.H. 1999. A study on land environmental capacity. Korea Research Institute for Human Settlements. (in Korean)
- Kim, S.Y. 2015. A study on the analysis of fuel characteristics for forest fire hazard assessment. (Dissertation). Gongju, Gongju National University. (in Korean)
- Kirilova, N.P. and Sileva, T.M. 2017. Colorimetric analysis of soils using digital cameras. *Moscow University Soil Science Bulletin* 72: 13-20.
- Koo, K.S., Lee, B.D., Won, M.S. and Lee, M.B. 2010. Crown fuel characteristics of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) in Mt. Palgong, Daegu. *Journal of Korean Forest Society* 99(1): 52-56. (in Korean)

- Korea Forest Service. 2019. The 6th National Forest Management Plan (2018-2037). Korea Forest Service. pp. 151. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2020. K-Forest Project Plan. Korea Forest Service pp. 44. (in Korean)
- Korea Forestry Promotion Institute. 2013. Forest Soil Digital Mapping (1:5,000) Manual. (in Korean)
- Korea Forestry Promotion Institute. 2017. 2017 Forest Soil Digital Mapping (1:5,000) Report. (in Korean)
- Korea Forestry Promotion Institute. 2018. Preparation of measures to improve the efficiency of forest spatial information construction. pp. 293-311. (in Korean)
- Korea Forestry Promotion Institute. 2019. Improvement measures and practical services for upgrading forest spatial information. pp. 346-623. (in Korean)
- Kumar, V., Vimal, B.K., Kumar, R., Kumar, R. and Kumar, M. 2014. Determination of soil pH by using digital image processing technique. Journal of Applied Natural Science 6(1): 14-18.
- Lee, B.D., Won, M.S., Kim, S.Y., Yoon, S.H. and Lee, M.B. 2010. Allometric equations of crown fuel biomass and analysis of crown bulk density for *Pinus densiflora*. Journal of Korean Forest Society 99(3): 391-396. (in Korean)
- Lee, C.Y., Jeong, J.H., Son, Y.H., Byun, J.K., and Koo, C.D. 2009. Forest soils. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 42: 238-258. (in Korean)
- Lee, S.W. 2009. Health of forest soil. https://www.kofpi.or.kr/info/combineBBS_01view.do. (2009. 12. 02). (in Korean)
- Liu, F., Zhang, G.L., Song, X., Li, D., Zhao, Y., Yang, J., Wu, H. and Yang, F. 2020. High-resolution and three-dimensional mapping of soil texture of China. Geoderma 361: 114061.
- McBratney, A.B., Santos, M.M. and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117(1-2): 3-52.
- National Institute of Forest Science. 2004. Forest Soils of Korea. pp. 41, 620. (in Korean)
- Park, M.W. 2020. Data dam based Data·Network·AI for Korean new deal and national digital transformation. Korea Information Processing Society Review 27(2): 14-20. (in Korean)
- Park, S.J., Kadavi, P.R. and Lee, C.W. 2018. Landslide susceptibility apping and comparison using probabilistic models: A case study of Sacheon, Jumunzin area, Korea. Korean Journal of Remote Sensing 34(5): 721-738. (in Korean)
- Park, S.J., Sonn, Y.K., Hong, S.Y., Park, C.W. and Zhang, Y.S. 2010. Spatial distribution of major soil types in Korea and assessment of soil predictability using soil forming factors. Journal of the Korean Geographical Society 45: 95-118. (in Korean)
- Sudha, R., Aarti, S., Anitha, S. and Nanthini, K. 2017. Determination of soil pH and nutrient using image processing. International Journal of Computer Trends and Technology Special Issue April: 58-60.
- Swetha, R.K., Bende, P., Singh, K., Gorthi, S., Biswas, A., Li, B., Weindorf, D.C. and Chakraborty, S. 2020. Predicting soil texture from smartphone-captured digital images and an application. Geoderma 376: 114562.
- Viscarra, R.A., Fouad, Y. and Walter, C. 2008. Using a digital camera to measure soil organic carbon and ion contents. Biosystems Engineering 100(2): 149-159.
- Zeraatpisheh, M., Jafari, A., Bodaghabadi, M.B., Ayoubi, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Toomanian, N., Kerry, R. and Xu, M. 2020. Conventional and digital soil mapping in Iran: Past, present, and future. Catena 188: 104424.
- Zou, W., Jing, W., Chen, G., Lu, Y. and Song, H. 2019. A survey of big data analytics for smart forestry. Institute of Electrical and Electronics Engineers Access 7: 46621-46636.

Manuscript Received : October 30, 2021

First Revision : November 30, 2021

Accepted : December 1, 2021