

Research Paper

개발사업 환경영향평가 시 토양중점관리지역 선정을 위한 예비연구

김종성 · 김충기 · 유근제 · 황상일
한국환경정책평가연구원

A Preliminary Study for Identifying Soil Management Area in Environmental Impact Assessment on Development Projects

Jong Sung Kim · Choong Ki Kim · Keunje Yoo · Sang-Il Hwang

Korea Environment Institute

요약 : 개발사업 예정지역에서 토양의 본래 기능을 최대한 보전하기 위해 토양을 중점적으로 관리하는 지역(토양중점관리지역)을 선정하여 관리할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 개발사업 환경영향평가시 어떻게 토양중점관리지역을 선정할 것인지에 대한 예비연구를 수행하였다. 토양 기능중 토양침식조절기능과 토양탄소저장기능을 우선적으로 고려하여 InVEST 모형을 활용한 정량적 평가를 수행하였고 중첩분석을 통해 2개의 개발사업 사례에 대해 토양중점관리지역을 선정하였다. 본 연구를 통해 개발된 방법론은 고해상도의 정밀한 분석, 다른 평가항목들과의 중첩분석 등 다양하게 활용할 수 있다. 좀 더 완벽한 평가를 위해 토양의 다양한 기능을 포함한 평가방법론을 개발할 필요가 있다.

주요어 : 토양중점관리지역, 탄소저장, 토양침식, InVEST, 환경영향평가

Abstract : In order to conserve soil functions to the highest degree in development projects, it is necessary to identify and manage specific area (so called soil management area) including soils with good or excellent functions. Therefore, in this work, we conducted a preliminary study how to identify soil management area in environmental impact assessment on development projects. To do this, quantitative evaluation was carried out on two example projects, using InVEST model considering a couple of soil functions, i.e., erosion control and carbon sequestration functions. Then, soil management area was identified through overlay analysis. The methodology developed in this study is able to be used widely for more detailed analysis with high resolution and furthermore overlay analysis with other assessment items. For more perfect assessment, other soil functions needed to be taken into account into our methodology.

Keywords : Soil management area, Carbon storage, Soil erosion, InVEST, EIA

First Author: Jong Sung Kim, Korea Environment Institute, +82-44-415-7810, kimjs@kei.re.kr

Corresponding Author: Sang-Il Hwang, Korea Environment Institute, +82-44-415-7756, sangilh@kei.re.kr

Co-Authors: Choong Ki Kim, Korea Environment Institute, +82-44-415-7007, cckim@kei.re.kr

Keunje Yoo, Korea Environment Institute, +82-44-415-7895, kjyoo@kei.re.kr

Received: 28 November, 2017. Revised: 5 December, 2017. Accepted: 7 December, 2017.

I. 서론

토양은 단단한 기반암이 장기간의 풍화·유실을 거쳐 모래나 흙으로 잘게 부서지는 과정을 통해 형성된 것으로서(Kang 2013), 환경 및 생태계의 다양한 부분에 중요한 영향을 미치고 있다. 토양의 표면층을 구성하는 표토는 약 5t/ha의 유기물 함유량을 가지며 많은 양의 토양 미생물 보유하고 있음에 따라 식물의 양분, 수분의 공급원 및 탄소저장고의 기능을 하고 있으며, 2cm 생성에 500년 이상이 소요되는 반면 토양 유실은 1~2년 내에 발생하는 재생 불가능한 유한한 자원으로 중요성이 매우 높은 자원이다(Defra 2009). 토양은 육상생태계의 가장 많은 종들의 서식지로서, 바이오매스 생산, 화학물질의 재활용, 수분저장, 영양소 균형유지 등 다양한 기능을 한다(Jonsson & Daiosdottir 2016). 이러한 토양은 생명자원으로서 식량, 에너지, 물, 기후, 생태계의 다양성과 건전성에 주요한 역할을 하며, Yang(2014)의 연구에 따르면 토양의 경제적 가치는 사용가치 약 24.7조원, 비사용가치 약 1.7조원으로 총 26.4조원의 가치를 가지는 것으로 나타났다. 이에 따라 토양 가치를 평가하고 관리할 수 있는 가치평가 방법의 개발 및 제도적 기반 마련이 필수적이다.

Shin(2013)의 연구에서는 국토통계자료를 이용하여 최근 10년간 농경지 808km², 임야 596km² 등 총 1,403km²가 감소된 반면 대지 356km², 공장용지 215km², 도로 및 철도 527km², 기타 801km²가 증가하여 연평균 약 140km²의 농경지 및 임야 훼손이 이루어지고 있으며, 전략환경영향평가 및 환경영향평가 대상이 되는 개발사업의 경우에는 2003년 37,140건, 84,91km²에 비해 2011년에는 89,209건, 412.77km²로 개발행위건수는 2.4배, 면적은 4.9배가 증가하여 토양의 훼손이 가속화되고 있다고 보고하였다. 이와 같이 토양 유실 및 개발을 통한 토양 훼손으로 토양의 가치의 저하가 심각한 문제로 지적되고 있으나 현행 환경영향평가 제도에서 토양의 평가는 단순히 토양오염도 항목에 대해 현황조사, 영향예측 및 평가, 저감방안 수립, 사후환경영향조사 순으로 이루어지고 있으며, 지형·지질 항목에서 비옥토

유실 및 재활용 계획 수립에 국한되어 있어 토양 고유의 복합적 특성을 반영하지 못하고 있다. 계획 수립단계인 전략환경영향평가와 사업 실시단계에서 이루어지는 환경영향평가 기법이 동일하여 효과적인 토양의 평가 및 관리가 이루어지지 않고 있어 개발대상지역의 개발 및 보존에 대한 정량적 평가가 어려움에 따라 합리적 의사결정에 어려움을 겪고 있다.

이처럼 개발에 따른 토양 가치 훼손 및 토양 질 저하문제가 심화되고 있음에 따라, '토양보전대책지역'의 지정을 통해 보다 체계적인 토양 보전을 추진하고자 하고 있다. 하지만 '토양보전대책지역'의 지정기준을 살펴보면 토양오염대책기준에 근거하고 있으며, 토양의 오염이 예상되는 지역 및 중금속 함량이 높은 지역을 대상으로 하고 있다. 따라서 토양오염 외에 다른 토양의 기능은 고려되지 못하고 있는 실정이다. 2013년 환경부에서는 '토양유실에 취약한 지역'과 '보전가치가 높은 지역'을 특별관리지역(표토보전지역)으로 지정 및 관리하여 국토의 지속가능한 개발을 도모하고자 하였으나 우리나라의 경우 토양 가치 및 기능에 대한 과학적인 지식과 정보, 이행 수단 및 방법이 부족하여 제도화 되지 못하였다. 따라서 토양의 보전 및 지속가능한 사용을 위해서는 토양 가치에 대한 평가 및 토양에 초점을 맞춘 지침 개발이 필요하다. 또한 환경성평가 내 토양의 적합한 평가 및 기존 환경성평가에서 활용되는 데이터를 통한 평가기법이 제공되어야 한다. 토양의 복합적 특성 및 기능을 고려한 환경영향평가가 이루어지기 위해서는 현재의 토양오염도 위주의 평가가 아닌 토양 가치에 대한 평가기법의 개발 및 관리지역의 선정이 필수적이라고 할 수 있다.

이에 따라 본 연구는 토양의 주요한 기능인 토양침식조절기능과 토양탄소저장기능을 우선적으로 고려하여 토양중점관리지역을 선정하는 방법론을 개발하였다. InVEST 모형을 활용하여 정량적 평가를 수행하고 중첩분석을 통해 토양 중점관리지역을 선정하였다. 이를 통해 환경영향평가 시 토양의 가치를 고려한 평가가 가능할 수 있도록 토양중점관리지역 선정기법을 제시하였다.

II. 기존 관리보호 지역 및 토양중점관리 지역

본 절에서는 환경적으로 보전가치가 있거나 관리가 필요한 지역의 선정기준에 대해 살펴보고 토양중점관리지역의 개념을 제시한다.

1. 토양보전대책지역

‘토양보전대책지역’은 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책을 필요로 하는 토양오염의 기준(대책기준)을 넘는 지역 또는 시장·군수·구청장이 요청하는 지역에 대하여 환경부장관이 「토양환경보전법」에 따라 지정·고시한 지역으로, 토양오염물질의 사용량증가와 폐기물 매립지, 산업시설 등 토양오염유발시설에 의한 토양오염의 요인이 계속 증가하고 있고 금속광산지역 등의 토양오염이 심화되고 있어 토양오염의 사전예방 및 토양보전을 보다 체계적으로 추진하기 위하여 도입된 제도이다(National Law Information Center 2017). ‘토양보전대책지역’은 다음의 네 가지 기준에 따라 지정하도록 하고 있다. ① 토양오염대책기준을 넘는 지역, ② 대책기준을 넘지 않더라도 시장·군수·구청장이 토양보전이 필요하다고 인정하여 관할 시·도지사 및 협의하여 환경부장관에게 대책지역으로 지정을 요청하는 지역, ③ 재배작물 중 오염물질함량이 「식품위생법」에 의한 중금속잔류허용기준을 초과한 면적이 1만m² 이상인 농경지, ④ 중금속·유류 등 토양오염물질에 의하여 토양·지하수 등이 복합적으로 오염되어 사람의 건강에 피해를 주거나 환경상의 위해가 있어 특별한 대책이 필요한 지역 등이다.

지정기준을 보면 토양의 오염에 대해서만 기준을 제시하고 있어, 토양 오염 외 다른 토양 가치 훼손 및 기능에 대한 고려가 이루어지지 못하고 있다. 이에 따라 토양보전대책지역 내에서 토양유기물, 토양침식, 토양이동, 토양생물다양성, 토양밀폐, 토양염류화 등 복합적 토양의 질을 고려한 토양중점관리지역의 지정이 필요하다.

2. 자연환경 보전지역 지정

자연환경의 보호 및 관리를 위해 보호 가치가 있는 동·식물이 존재하는 지역 또는 경관이 수려한 지역 등 보호할 가치가 있는 구역을 환경부, 지방자치단체(시·도), 국토해양부, 산림청, 문화재청 등 다양한 기관에서 보호지역을 지정, 관리하고 있다(Park et al. 2012). 국내의 주요 보호지역들의 경우 장소 위주로 지정이 이루어지고 있으며, 관련 부처에서 법률체계를 바탕으로 지정·관리가 수행되고 있다. 대표적인 자연환경 보전지역으로는 자연공원, 생태·경관 보호지역, 습지보호지역, 야생동·식물보호지역, 산림보호구역이 있다.

1) 자연공원

자연공원은 자연생태계나 자연 및 문화경관이 대표할 만한 지역으로서 지정 주체에 따라 국립공원, 도립공원, 군립공원으로 구분하여 지정하고 있다. 이러한 자연공원은 자연생태계, 자연경관, 문화경관, 지형보존, 위치 및 이용편의 등을 종합적으로 고려하여 지정된다(National Law Information Center 2017). 자연공원의 지정은 「자연공원법」에 따라 ① 생물다양성이 특히 풍부한 곳, ② 자연생태계가 원시성을 지니고 있는 곳, ③ 특별히 보호할 가치가 높은 야생 동·식물이 살고 있는 곳, ④ 경관이 특히 아름다운 곳으로서 특별히 보호할 필요가 있는 지역을 공원자연보존지구로, 공원자연보존지구의 완충공간(緩衝空間)으로 보전할 필요가 있는 지역을 공원자연환경지구로, 마을이 형성된 지역으로서 주민 생활을 유지하는 데 필요한 지역을 공원마을지구로, 「문화재 보호법」 제2조 제2항에 따른 지정문화재를 보유한 사찰과 「전통사찰의 보존 및 지원에 관한 법률」 제2조 제1호에 따른 전통사찰의 경내지 중 문화재의 보전에 필요하거나 불사에 필요한 시설을 설치하고자 하는 지역을 공원문화유산지구로 지정하여 관리하고 있다(Park et al. 2012; Nation Law Information Center 2017).

2) 생태·경관 보호지역

생태·경관보전지역은 「자연환경보전법」에 따라 지

정되고 있다. 동법 제12조 제1항에 따라 환경부장관은 다음의 어느 하나에 해당하는 지역으로서 자연생태·자연경관을 특별히 보전할 필요가 있는 지역을 생태·경관보전지역으로 지정할 수 있다. 생태·경관보호지역의 지정기준은 ① 자연 상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부하여 보전 및 학술적 연구가치가 큰 지역, ② 지형 또는 지질이 특이하여 학술적 연구 또는 자연경관의 유지를 위하여 보전이 필요한 지역, ③ 다양한 생태계를 대표할 수 있는 지역 또는 생태계의 표본지역으로 명시되어 있다(National Law Information Center 2017).

3) 습지보호지역

습지보호지역은 습지 중 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부한 지역, 희귀하거나 멸종위기에 처한 야생동·식물이 서식·도래하는 지역, 특이한 경관적·지형적 또는 지질학적 가치를 지닌 지역으로 1999년에 처음으로 지정되었다(National Law Information Center 2017). 습지보호지역의 지정은 「습지보전법」에 따르고 있으며 지정기준은 다음과 같다. ① 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부한 지역, ② 희귀하거나 멸종위기에 처한 야생동·식물이 서식·도래하는 지역, ③ 특이한 경관적·지형적 또는 지질학적 가치를 지닌 지역, ④ 습지보호지역 중 습지의 훼손이 심화되었거나 심화될 우려가 있는 지역, ⑤ 습지생태계의 보전상태가 불량한 지역 중 인위적인 관리 등을 통하여 개선할 가치가 있는 지역 등이다.

4) 야생동·식물보호지역

야생동·식물보호지역은 환경부장관이 지정하도록 하고 있으며, 멸종위기야생생물의 보호 및 번식을 위해 특별히 보전할 필요가 있는 지역을 토지소유자 등 이해관계인과 지방자치단체의 장의 의견을 듣고 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 야생생물 특별보호구역으로 지정할 수 있다(Park et al, 2012; National Law Information Center 2017). 보호지역의 지정은 「야생동·식물보호법」에 따라 시·도지사나 시장·군수·구청장이 멸종위기야생생물 등을 보호하기 위하

여 특별보호구역에 준하여 보호할 필요가 있는 지역을 야생생물 보호구역으로 지정할 수 있도록 하고 있으며, 지정기준은 다음과 같다. ① 멸종위기야생생물의 집단서식지·번식지로서 특별한 보호가 필요한 지역, ② 멸종위기야생동물의 집단도래지로서 학술적 연구 및 보전가치가 커서 특별한 보호가 필요한 지역, ③ 멸종위기야생생물이 서식·분포하고 있는 곳으로서 서식지·번식지의 훼손 또는 당해 종의 멸종우려로 인하여 특별한 보호가 필요한 지역(National Law Information Center 2017) 등이다.

5) 산림보호구역

산림보호구역이란 산림에서 생활환경·경관의 보호와 수원(水原) 함양, 재해 방지 및 산림유전자원의 보전·증진이 특별히 필요하여 지정·고시한 구역으로, 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사 또는 지방산림청장은 특별히 산림을 보호할 필요가 있는 경우 산림보호구역을 지정할 수 있도록 하고 있다(National Law Information Center 2017). 산림보호구역은 생활환경보호구역, 경관보호구역, 수원함양보호구역, 재해방지보호구역, 산림유전자원보호구역에 대해 각각의 기준을 지정하여 산림지역의 보전 및 관리를 수행하고 있다. 생활환경보호구역은 도시, 공단, 주요 병원 및 요양소의 주변 등 생활환경의 보호·유지와 보건위생을 위하여 필요하다고 인정되는 구역에 대해 지정하고 있으며, 경관보호구역은 명승지·유적지·관광지·공원·유원지 등의 주위, 그 진입도로의 주변 또는 도로·철도·해안의 주변으로서 경관보호를 위하여 필요하다고 인정되는 구역, 수원함양보호구역은 수원의 함양, 홍수의 방지나 상수원 수질관리를 위하여 필요하다고 인정되는 구역, 재해방지보호구역은 토사 유출 및 낙석의 방지와 해풍·해일·모래 등으로 인한 피해의 방지를 위하여 필요하다고 인정되는 구역, 마지막으로 산림유전자원보호구역은 산림에 있는 식물의 유전자와 종(種) 또는 산림생태계의 보전을 위하여 필요하다고 인정되는 구역을 대상으로 지정하고 있다(Korea Forest Service 2017).

3. 토양중점관리지역

토양보전대책지역은 토양오염만을 고려하여 지정하고 있으므로, 본 연구에서는 토양오염뿐만 아니라 토양기능 훼손도 방지하고 토양환경의 지속적인 보전 및 관리를 위해 토양중점관리지역 제안을 고려한다. 토양중점관리지역은 토양의 질 또는 복합적 특성들을 고려한 토양세부 평가항목의 평가결과, 토양기능 및 가치가 높아 특별한 관리 및 보전이 필요한 지역으로, Yang et al.(2016)의 연구에 따르면 토양평가항목으로는 토양오염, 토양유기물, 토양침식, 토양이동, 토양생물다양성, 토양밀폐, 토양염류화가 있다.

본 연구에서는 7가지의 토양세부 평가항목 중 토양침식, 토양유기물 두 가지 항목에 대해 토양탄소저장기능, 토양침식조절기능에 대한 정량적 평가를 수

행하고 이를 통해 시범지역을 대상으로 토양중점관리지역을 도출하였다(Figure 1).

III. 연구의 범위 및 방법

1. 대상지역

본 연구에서는 환경영향평가 대상 도시계획사업 지역인 ‘고양 ○○ 도시개발사업’ 지역과 소규모 환경영향평가 대상사업 지역인 ‘제천 스토리창작클러스터 사업’ 지역을 대상으로 토양 중점관리지역 산정 기법을 시범적용 하였다.

1) 고양 도시개발사업 지역

‘고양 ○○ 도시개발사업’ 지역은 환경영향평가 대상사업 지역으로 경기도 고양시 일원의 640,600m²의 규모로 2012년 5월에 시작하여 2018년 12월에 완

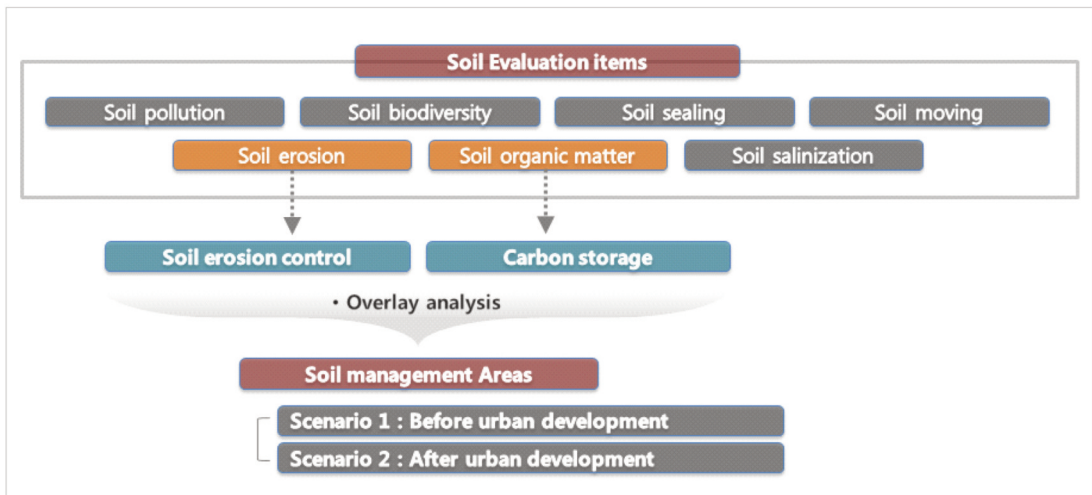


Figure 1. Concept for identifying Soil management area

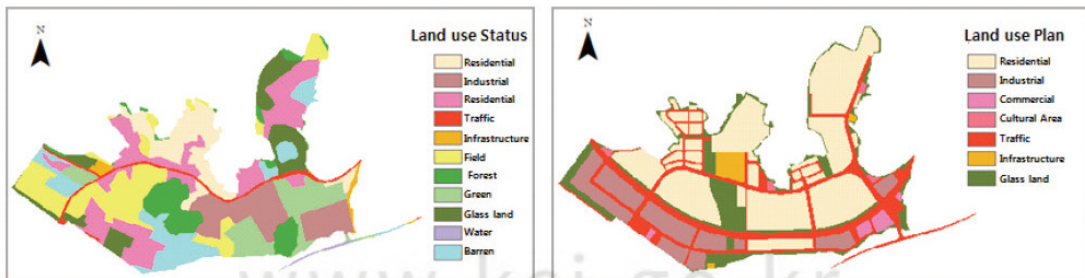


Figure 2. Current land use (left) and land use plan (right): Goyang Urban development district

Table 1. Landuse changes at two development project scenarios

Goyang Urban development district						
Landuse	Pre-development		After-development		Variation	
	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Residential	66,951	10.5%	292,888	45.7%	225,937	35.3%
Industrial	76,033	11.9%	88,510	13.8%	12,477	1.9%
Commercial	123,586	19.3%	9,498	1.5%	-114,088	-17.8%
Infrastructure	-	0.0%	4,253	0.7%	4,253	0.7%
Traffic	18,727	2.9%	139,169	21.7%	120,442	18.8%
Public utility	7,523	1.2%	13,940	2.2%	6,417	1.0%
Field	104,922	16.4%	-	0.0%	-104,922	-16.4%
Forest	54,616	8.5%	-	0.0%	-54,616	-8.5%
Natural grassland	63,522	9.9%	-	0.0%	-63,522	-9.9%
Artificial grassland	55,932	8.7%	92,342	14.4%	36,410	5.7%
Wetland	2,520	0.4%	-	0.0%	-2,520	-0.4%
Ground	66,268	10.3%	-	0.0%	-66,268	-10.3%
Total	640,600	100%	640,600	100%	-	-

Jechun Urban development district						
Landuse	Pre-development		After-development		Variation	
	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Building	-	0.0%	6,752.59	9.03%	6,752.59	9.03%
Traffic	-	0.0%	5,242.91	7.01%	5,242.91	7.01%
Square	-	0.0%	707.31	0.95%	707.31	0.95%
Water	-	0.0%	202.31	0.27%	202.31	0.27%
Green	-	0.0%	15,842.97	21.18%	15,842.97	21.18%
Mixed forest	74,790	100%	46,041.91	61.56%	-28,748.09	-38.44%
Total	74,790	100%	74,790	100%	-	0.00%

로 예정인 사업지역이다(Figure 2). 개발 사업의 진행에 따라 주거지역(35.3%), 교통지역(18.8%)의 증가가 계획되어 있으며, 상업지역(17.8%), 밭(16.4%), 인공나지(10.3%)가 감소할 것으로 예상된다.

2) 제천 도시개발 사업 지역

'제천 ○○ 도시개발사업'은 충북 제천시 일대 74,790m²의 소규모 환경영향평가 대상사업 지역으로 개발 이전 혼효림으로만 토지피복이 이루어져 있던 지역을 개발하는 사업이다(Figure 3). 전체 대상

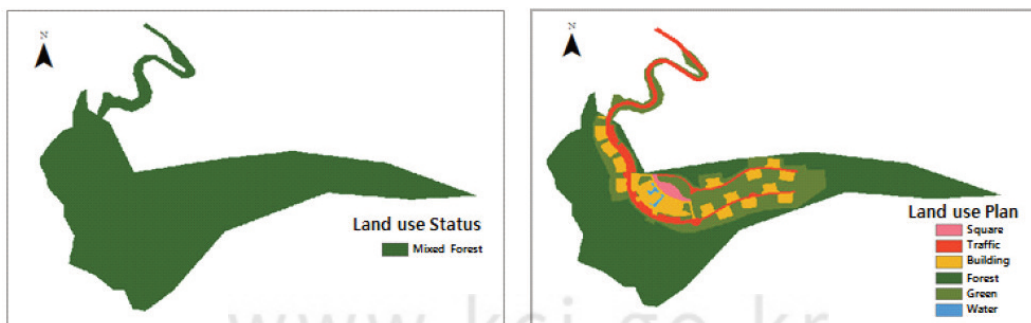


Figure 3. Current land use(left) and land use plan(right): Jechun Urban development district

Table 2. Carbon stocks by land use

Category		Above biomass	Below biomass	Soil carbon	Litter/Dead wood	
Urban area	Development area	0	0	0	0	
	Facility area	0	0	0	0	
	Infrastructure	0	0	0	0	
	Urban forest	Broad-leaved	64.31	23.15	55.68	10.13
		Coniferous	42.87	11.57	38.75	13.45
Mixed		53.59	17.36	47.22	11.79	
Farmland	Rice field	0	0	69.90	0	
	Field	0	0	62.20	0	
	Cultivation under structure	0	0	45.90	0	
	Orchard	0	0	51.00	13.00	
	Etc	0	0	45.90	0	
Forest	Broad-leaved	64.31	23.15	55.68	10.13	
	Coniferous	42.87	11.57	38.75	13.45	
	Mixed	53.59	17.36	47.22	11.79	
Glass land	Natural	4.17	16.69	88.20	0	
	Artificial	1.15	4.58	11.50	0	
Barren ground	Barren ground	0	0.33	0.33	0	
Fresh water	River	0	0	0	0	
	Lake	0	0	0	0	
	Inland wetland	35.24	9.18	88.00	0	
Ocean	Marine water	0	0	0	0	
	Coastal wetland	1.30	1.30	240	0.70	

지역의 38.44%를 개발하는 사업으로서 조경녹지(21.18%), 건축부지(9.03%), 교통지역(7.01%)가 조성될 예정이다.

3. 토양 중점관리지역 선정

본 연구는 토양의 복합적 기능에 대한 평가를 제공하는 InVEST, ARIES, MIMES 모델의 특성 및 적용 사례를 분석한 결과, ARIES 모델의 경우 웹 기반 서비스를 제공하고 있어 사용자 접근성은 높으나 모델에 대한 이해도가 높아 활용이 가능할 것으로 판단되며, MIMES 모델은 숙련된 노하우가 필요하므로 일반 사용자의 이용이 쉽지 않으며 현재까지의 적용 사례가 대부분 해양을 중심으로 이루어졌기 때문에 토양 기능 평가에는 적용이 어려움에 따라 환경성평가 시 토양 중점관리지역 선정에 InVEST 모델이 가장 적합하다는 결론을 도출하였다.

이에 따라, 본 연구에서는 InVEST 모델 내 Carbon

모듈과 SDR모듈을 활용하여 토양 탄소저장 기능, 토양 침식조절 기능을 평가하고 중첩분석을 통해 두가지 시나리오로 토양 중점관리지역을 선정하였다.

1) 토양 탄소저장 기능 평가

InVEST 모델의 Carbon 모듈을 활용하여 대상지역의 개발사업 전, 후 시기의 탄소저장량을 평가하였다. 개발 전 토지이용현황을 나타내는 토지이용현황도와 개발사업 이후 토지이용계획을 나타내는 토지이용계획도에 따라 탄소 저장고(Carbon pool)에 저장된 탄소량을 산정하였다. 탄소 저장고의 경우 토양 탄소 외에도 지상부 바이오매스, 지하부 바이오매스, 낙엽층/고사목을 추가적으로 적용하여 토양 탄소에 따른 결과뿐만 아니라 전체적인 토양 탄소저장량을 평가하였다. 토지이용 및 피복유형에 따라 탄소 저장량을 산정하고 토지이용도의 셀 별 탄소저장량 지도를 도출하였으며, 개발 전, 후의 토지현황도 및

토지이용계획도를 활용하여 시간의 흐름에 따른 탄소저장량의 변화에 대한 결과도 함께 도출하였다.

탄소 저장고량에 대해서는 국내외에서 Tomasso and Leighton(2014), Chung et al.(2015), Kim et al.(2016) 등 다양한 연구가 수행되었다(Figure 4). 본 연구에서는 중분류 토지피복지도의 22개 분류항목에 대한 모든 값을 제시하고 있으며, 현재 국내의 현황을 가장 잘 반영하고 있는 Lee et al.(2016)의 연구에서 제시한 탄소 저장고 값을 적용하였다(Table 2). Lee et al.(2016)에서는 산림 생태계와 도시 산림의 지상부, 지하부 임목 바이오매스 탄소 저장량은 임상별 단위면적 당 임목축적량에 탄소저장계수를 곱하여 산출하였으며 산림 토양, 낙엽층 저장고는 국립과학원의 표준 탄소 저장량 계수를 활용하여 산정하였다.

2) 토양 침식조절 기능 평가

대상지역의 토양 침식조절 기능은 InVEST 모델 내 SDR모듈을 활용하여 평가하였다. 개발 전 토지이용현황을 나타내는 토지이용현황도에 따라 토양 유실량을 산정하였으며, 수치지형도를 기반으로 RUSLE 계산방식을 활용하여 각 픽셀의 토양유실량을 산정하였다.

$$usle_i = R_i \cdot K_i \cdot LS_i \cdot C_e_i \cdot P_i$$

개발 전의 토지이용현황을 활용하여 토양 유실량을 확인 하였으며, '표토침식량 현장조사' 실시 기준인 50Mg/ha·yr를 적용하여 기준 이하의 토양 유실이 예상되는 지역에 대해 토양 침식조절 기능이 높은 것으로 분류하고, 토양의 중점적인 관리가 필요한 지역으로 선정하였다. 입력 자료로는 표토자원전략연구단에서 제공하는 수치지형도(DEM), 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 소권역 유역도와 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시' [별표 1]에서 제공하고 있는 강우인자(R), 토양침식성인자(K), 식생피복인자(C), 보전관리인자(P) 값을 사용하였다.

3) 토양중점관리지역 선정

토양기능 영향인자 중첩 분석 모델을 사례지역에 시범 적용함으로써, 토양 탄소저장량 모델 및 토양 침식량 산정 모델을 통해 도출된 결과를 활용하여 최종적인 토양중점관리지역을 선정하였다.

두 가지 시나리오를 통해 개발사업 전, 후에 대한 토양 중점관리지역을 선정하였다. 시나리오 1은 사업 시행 전 토지피복현황에 대해 탄소 저장량 및 토양 침식량 기준을 적용하여 토양 중점관리지역을 선정하였다. 탄소저장량의 경우 전체 백분위의 상위 20%인 60MgC/ha 이상인 지역을 대상으로 하였으며, 토양침식량은 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시' [별표 1]에서 제시하고 있는 표토침식량 현장조사 실시 기준인 50Mg/ha/yr보다 침식량이 더 적은 것으로 예상되는 지역을 대상으로 하였다. 시나리오 2는 개발사업 전, 후의 탄소저장량 및 개발 사업 이전의 토양 침식량에 대해 기준을 적용하여 토양 중점관리지역을 선정하였다. 탄소저장 기능에 대해서는 개발 후 탄소저장량이 이전에 비해 감소하는 지역을 대상으로 하였으며, 토양 침식조절 기능은 시나리오 1과 동일한 기준을 적용하였다. 이와 같은 기준을 적용한 것은 개발 사업 이후 개발이 이루어지는 지역의 토지 피복이 포장면으로 변경되어 토양의 침식이 발생하지 않게 됨에 따라 이때 토양 침식량이 0으로 나타나는 것은 본 연구에서 의미하는 토양 침식조절기능이 높다는 것과는 다른 의미이다. 따라서 개발 이후의 토양 침식조절기능을 평가하는 것은 토양 중점관리지역의 선정에 기준이 될 수 없음에 따라 개발사업 이전의 토양의 침식조절 기능 수준을 선정 기준으로 설정하였다.

IV. 시범적용 결과 및 토의

1. 토양 탄소저장 기능

고양 ○○ 도시개발사업 지역을 대상으로 토양 탄소저장량을 분석한 결과는 Figure 4와 같다.

토양 탄소저장량을 평가한 결과 개발사업 전 토양 탄소저장량이 2,336.6mgC로 나타났으며, 사업 후

토양 탄소저장량이 160.5mgC인 것으로 나타났다. 사업의 진행에 따라 토양 탄소저장량이 2,176.1mgC 감소하여 기존의 6.87% 수준으로 탄소저장량이 낮아질 것으로 예상된다.

제천 ○○ 사업지역의 토양 탄소저장 기능 분석 결과는 Figure 5와 같다.

대상지역의 토양 탄소저장량을 분석한 결과 사업 이전 토양탄소저장량이 974.7mgC로 나타났으며, 사업 이후 625.1mgC로 분석되었다. 따라서 사업 이후 토양 탄소저장량이 349.7mgC 감소하여 기존의 64.13% 수준으로 줄어들게 될 것으로 예상된다.

2. 토양 침식조절 기능

먼저 고양 ○○ 도시개발사업지역의 분석 결과는 Figure 6과 같다.

고양 ○○ 도시개발사업 지역에 InVEST SDR 모듈을 시범적용한 결과 사업 전 토양 침식량이 64.71Mg/ha로 나타났다.

제천 ○○ 사업 지역의 분석 결과는 Figure 7과 같다.

대상지역의 분석결과, InVEST SDR 모듈의 적용 결과 사업 전 토양 침식량이 18.85 Mg/ha로 나타났다. 앞의 대상지역에서와 마찬가지로 InVEST 모델 적용 시 일부 지역에서 현장조사 실시 기준을 초과하는 수준의 토양침식이 발생할 것으로 예상되었다.

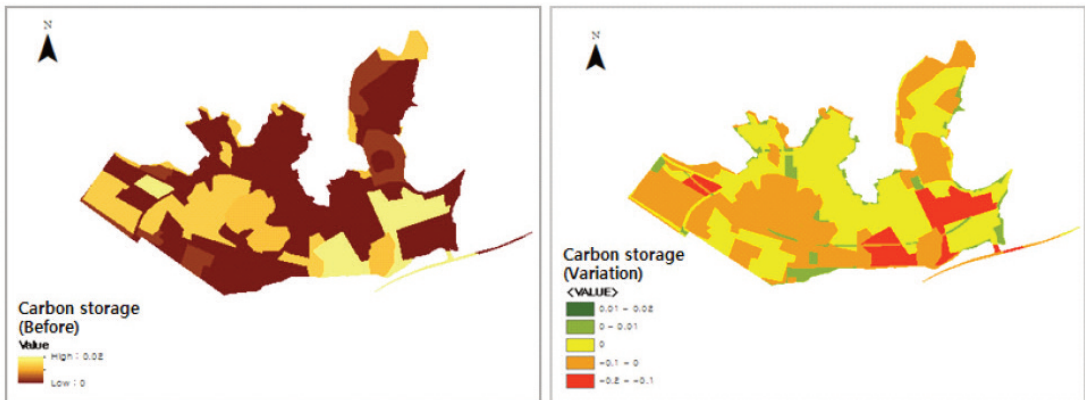


Figure 4. Carbon storage before development (left) and variation after development (right) in Goyang Urban development district

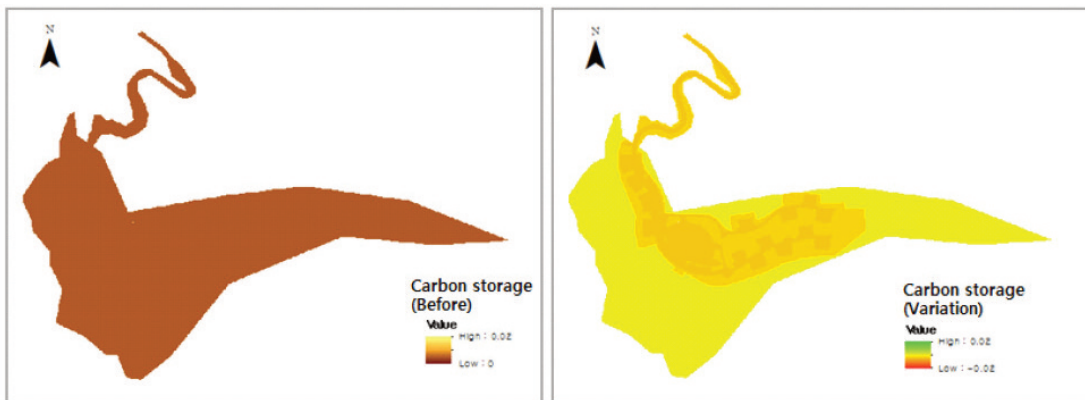


Figure 5. Carbon storage before development (left) and variation after development (right) in Jechun Urban development district

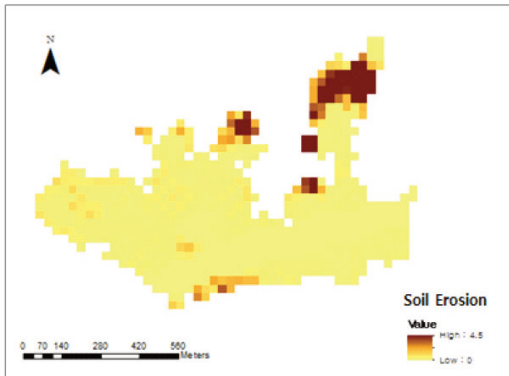


Figure 6. Goyang Urban development district: Soil erosion

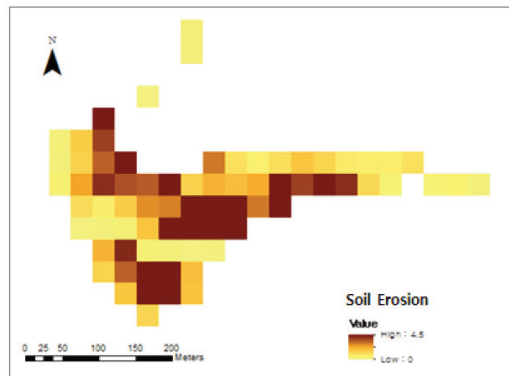


Figure 7. Jechun Urban development district: Soil erosion

3. 토양 중점관리지역 선정

대상지역의 개발 전, 후의 토지피복 및 토지이용에 대해 각 시나리오를 적용하여 토양 중점관리지역을 도출하였다.

사업 이전의 상태에 대해 분석한 결과 다음과 같이

토지 중점관리지역이 선정되었다(Figure 8). 고양 ○○ 개발사업 지역의 경우 개발이전 시점을 기준으로 대상지역 전체면적의 27.48%에 해당하는 면적이 토양 중점관리지역의 조건에 부합하는 것으로 나타났다. 반면 제천 개발사업 지역은 전체지역이 사업 이전 탄

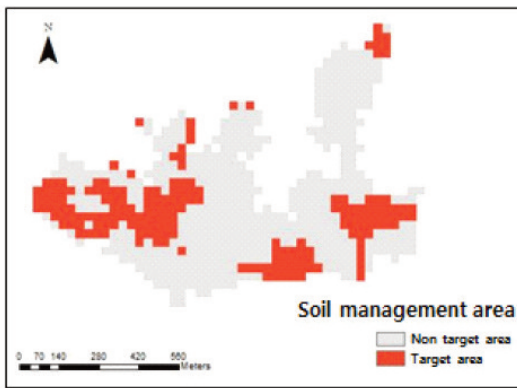


Figure 8. Pre-development Soil management areas in Goyang(left) and Jechun(Right) Urban development districts

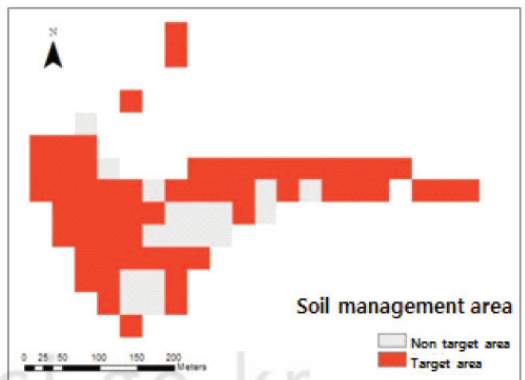
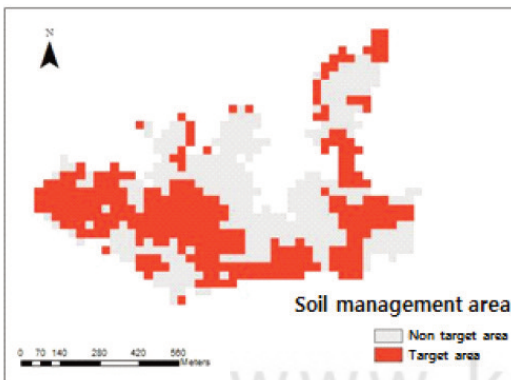


Figure 9. After-development Soil management areas in Goyang(left) and Jechun(Right) Urban development districts

Table 3. Result of method to identify soil management areas

		Result	
Value	Carbon storage (Variation)	2336.6 mgC (-2176.1 mgC)	974.7 mgC (-349.7 mgC)
	Soil loss	64.71 Mg/ha	18.85 Mg/ha
Resolution		Cell, 30m × 30m (900m ²)	
Method		InVEST Model (Carbon, SDR module)	
Overlay assessment		Available	

소저장량이 토양 중점관리지역 선정 기준보다 낮음에 따라 토지 중점관리지역에 선정되는 지역이 없는 것으로 나타났다.

개발 사업 이후 대상지역의 토양 중점관리지역 선정 결과는 Figure 9와 같다.

토양 탄소저장량과 토양 침식량을 고려하여 토양 중점관리지역의 기준에 부합하는 지역을 도출한 결과 고양 ○○ 사업지역에서는 49.53%, 제천 사업지역에서는 77.02%의 지역이 적합한 것으로 나타났다.

토양 중점관리지역 선정 모형을 시범지역에 적용하여 탄소저장기능과 토양침식 조절기능을 평가한 결과 두 지역 모두에서 개발 전 후 토양기능의 변화가 나타남을 알 수 있다.

탄소저장기능의 경우 두 지역 모두 개발 이후 탄소저장량이 감소하게 되는 것으로 나타났다. 이는 도시개발로 인해 밭, 산림 및 초지 지역이 주거지역, 상업지역, 교통지역 등의 도시 지역을 변경됨에 따라 포장면의 증가와 탄소저장기능이 높은 초목의 유실로 인해 나타나는 결과이다. 또한 이와 같은 토지이용 및 피복유형의 변화는 토양을 지지하는 토양침식조절기능의 저하를 가속화시키며, 도시지역 내 포장면에서는 토양의 기능이 사라지게 된다.

이러한 도시 개발에 따른 토양의 기능저하를 줄이고 토양기능을 보전한 지속가능한 도시개발을 위해 토지 중점관리지역을 선정하였다. 분석 결과 대상지역에서 개발이전 시점을 대상으로 한 시나리오1의 토지 중점지역 선정결과에 비해 개발 전 후의 기능 변화를 고려한 시나리오2의 토지 중점지역 선정결과에서 더 많은 지역이 대상지역으로 선정되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 도시 개발에 따른 토양 기능이 기준에 비해 저하되게 됨에 따른 결과로서, 고양 도

시개발사업지역의 경우 주거지역, 교통지역이 가장 많이 증가하고 밭이 가장 많이 감소함에 따라 탄소저장기능의 저하가 발생하게 되고, 제천 도시개발사업 지역은 개발이전 전체 지역이 혼효림이었으나, 건축부지와 조경녹지로 변경되게 됨에 따라 탄소저장기능의 감소 및 토양유실조절기능의 저하에 따른 결과라고 할 수 있다. 따라서 토양 기능의 손실이 예상되는 지역에 대한 보전계획 및 개발 형태에 대한 재검토가 이루어져야 함을 시사한다.

또한 개발 이후 제천 도시개발사업지역에서의 토양중점관리지역의 면적 비율이 고양에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 제천의 경우 개발이전 토지이용이 전부 혼효림으로 이루어져 있음에 따라, 개발이 이루어지는 모든 지역에서 토양탄소저장기능이 감소할 것으로 예상됨에 따른 결과이다. 뿐만 아니라 기존 혼효림 지역을 조경녹지로 조성하게 되는데, 조경녹지의 탄소저장기능이 혼효림에 비해 낮음에 따라 건축부지가 아닌 지역이 토양중점관리지역으로 지정되었다.

V. 결론

본 연구에서는 환경영향평가 및 소규모환경영향평가 대상 사업지역 두 곳을 대상으로 토양 탄소저장기능과 토양 침식조절 기능을 평가하고 이를 통해 토양의 가치가 높아 개발 시 관리가 중요시되는 토양 중점관리지역을 도출하였다.

본 연구의 토양 중점관리지역 선정기법은 대상지역의 토양 탄소저장기능과 토양 침식조절 기능에 대해 30m×30m 셀 단위의 고해상도 분석을 수행함에 따라, 환경영향평가의 평가 방법에서 구역단위의 분

석을 수행하는데 비해 지역을 보다 세부적으로 나누어 정밀한 분석이 가능하다. 따라서 토양중점관리지역 선정기법의 활용을 통해 기존 환경영향평가 내 측정방법보다 고해상도의 정밀한 분석이 가능하며, 셀 단위의 측정이 가능함에 따라 다른 평가항목들과의 중첩분석 등 다양한 평가에서의 활용이 가능하다. 또한, 본 연구에서 제시하는 토양 중점관리지역 선정기법의 경우 토지피복도 및 토지이용계획도를 기반으로 분석을 수행하므로 환경영향평가 사업 시 활용이 용이하며 별도의 추가적인 데이터를 필요로 하지 않는다는 장점을 가진다. 이를 통해, 현장조사에 소요되는 환경영향평가 현장조사 시간 및 비용 절감을 통한 효율적인 업무 수행이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 토양 탄소저장기능 평가기능을 평가하기 위해 InVEST 모델 내 Carbon 모듈을 적용함에 따라 탄소 순환(Carbon cycle)을 단순화 하였으며, 시간에 따른 탄소격리의 변화를 선형적변화로 가정했다는 한계점을 가진다. 또한 토지이용 및 토지피복 유형에 따라 토양 탄소저장 기능 및 토양 침식 조절기능을 평가함에 따라, 동일한 토지피복유형 내에서 발생할 수 있는 차이가 반영되지 못하였다. 보다 정밀한 토양 가치에 대한 평가를 위해 국내의 토양 환경 및 특성을 고려한 추가적인 연구의 수행이 필요할 것으로 생각되며, 지목 별 토지 이용, 토양 관리체계, 토양 내 유기물 투입에 대한 지표와 계수들의 지속적인 논의가 이루어져야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 토양 중점관리지역의 선정 기준으로 '표토의 침식 현황 조사에 관한 고시'에서 제시하는 현장조사 실시 기준을 활용하였으나, 토양의 가치를 평가하기 위한 기준 마련 및 등급화에 대한 추가적인 연구를 통해 보다 개선된 토양 중점관리지역의 선정이 가능할 것으로 예상된다. 추가적으로, 토양이 가지는 다양한 기능들 및 생태계서비스의 평가방안 마련을 위해 바이오매스생산 기능, 지하수함량 기능, 자연식생 서식지 기능, 탄소저장 기능, 중금속흡착 기능 등의 토양의 복합적인 기능 과 토양오염, 토양 유기물, 토양침식, 토양이동, 토양생물다양성, 토양 밀폐, 토양염류화 등 토양 질에 대한 셀 단위의 정량적 평가 방안을 마련하고 추가적인 토양 기능 평가요

소를 추가한 토양 가치 평가 모델의 개발이 수행되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 환경부의 토양지하수오염방지기술개발사업 (과제번호 2014000540006) 일환으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행한 “토양의 복합적 특성을 고려한 환경영향평가 기술 개발”에 의해 작성되었습니다.

References

- Chung MG, Kang HJ, Choi SU. 2015. Assessment of Coastal Ecosystem Services for Conservation Strategies in South Korea. *PLoS ONE*. 10(7): 1-23.
- Defra. 2009. Construction Code of Practice for the Sustainable Use of Soils on Construction Sites.
- Jonsson JOG, Davíðsdóttir B. 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*. 145: 24-38.
- Kang CH. 2013. A study on the introduction of conservation of top soil into the environmental assessment system. Ph.D. dissertation. Kwangwoon University, Seoul. [Korean Literature]
- Kim JS, Han SH, Chang H, Kim TY, Jang IY, Oh WS, Seo CW, L WK, Son YW. 2016. Quantitative Assessment of Climate Regulating Ecosystem Services Using Carbon Storage in Major Korean Ecosystems. *Korean J. Environ. Biol.* 34(1): 8-17. [Korean Literature]
- Kim, et al. 2010. Prediction of soil erosion from agricultural uplands under precipitation change scenarios. *Korean J. Soil. Fert.* 43(6): 789-792. [Korean Literature]

- Korea Forest Service. 2017. <http://www.forest.go.kr>
- Lee CH, Kwak SY, Kim CK, Bae HJ, Seo YW, Ahn SE, Kang WM, Kim JE, Shin JW. 2016. An Integrated Approach to Environmental Valuation. Korea Environment Institution. [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2017. <http://www.law.go.kr>
- Park YH, Jeon SW, Eom JH, Hong HJ, Choi HA, Byun BS. 2012. Sustainable Use and Management of Protected Areas: Site-Based Approaches Considering Ecological and Socio-Economic Factors. Korea Environment Institute. [Korea Literature]
- Shin KH. 2013. Case study of EIA for soil resource conservation. Korea Environment Institution. [Korean Literature]
- Tomasso LP, Leighton M. 2014. The Impact of Land Use Change for Greenhouse Gas Inventories and State-Level Climate Mediation Policy: A GIS Methodology Applied to Connecticut. Journal of Environmental Protection. 5: 1572-1587.
- Yang JE. 2014. Evaluating Multifunctional Quality of Topsoil and Developing the Optimized Management System. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Yang JH, Park SH, Yoo KJ, Kim TH, Hwang SI. 2016. Strategic Environmental Impact Assessment for Development Basic Plan Considering complex Characteristics of soil. Journal of Environmental Impact Assess. 25(2): 155-164. [Korean Literature]