

The Research Review of Soil Ecosystem Services

Byungkeun Hyun*, Changhun Lee, Sangho Jeon, Sukyoung Hong, and Youngsun Zhang
National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: bkhyun@korea.kr

ABSTRACT

Received: September 6, 2018

Revised: November 19, 2018

Accepted: November 19, 2018

Recently, there is growing interest in agricultural public service function. Studies on soil ecosystem services in addition to its agricultural multi-functionality are underway. Ecosystem services and agricultural multi-functionality have a common denominator of soil. To extend the concept, scope, and context of agricultural public services, it can be extended on the basis of soil functions. Therefore, the results of ecosystem services research related to soil are summarized. Recently, ecosystem services are classified into four categories. Ecosystem services of FAO are divided into provisioning services, regulating services, supporting services, and cultural services. The provisioning services included crop production and water resource. Regulating services are soil related functions such as carbon sequestration, waste treatment, water purification, flood control, erosion prevention, and nutrient supply. Supporting services are biodiversity functions. Ecosystem services can be divided into annual value and total asset value. The nutrient content function and carbon sequestration function can be evaluated at annual value, and also nutrient and carbon contents assessment can be evaluated by stock. They suggest additional soil functions as follows; the energy supply function through biomass, the rare earth supply, the production of medicines, the removing pollutant such as fine dust, drought resistance and soil nitrogen fixation.

Keywords: Soil, ecosystem services, agriculture, multi-functionality

Soil-related ecosystem services.

Ecosystem services	Item of ecosystem services	Function of soil-related
Provisioning	Food(Biomass, wood etc)	Energy through biomass
	Raw materials	Rare earth supply
	Freshwater	
	Medicinal resources	Medicinal resources supply
Regulating	Local climate air quality	Contaminant reduction function such as fine dust
	Carbon sequestration and storage	
	Waste-water treatment	
	Moderation of extreme events	Drought resistant
	Regulation of water flow	
	Erosion prevention and maintenance of soil fertility	
Supporting	Biological control	
	Pollination	
	Habitat for species	
	Maintenance of genetic diversity	



Introduction

정부 개헌(안)에 “국가는 식량의 안정적 공급과 생태보전 등 농어업의 공익적 기능을 바탕으로 농어촌의 지속 가능한 발전과 농어민의 삶의 질 향상을 위한 지원 등 필요한 계획을 수립·시행해야 한다” 고 명시함으로써, 농업의 공익 기능에 대한 관심이 새롭게 부각되고 있다. 농업의 공익기능을 과거에는 농업의 다원적 기능과 유사한 용어로 해석하기도 했다 (Kim et al., 2013). 그러나, 최근에는 농업의 다원적 기능, 토양의 생태계서비스, 농업의 공익기능 등으로 관련용어가 다양하게 사용되고 있으나, 명확한 정의나 기준은 모호하다.

다원적 기능에 관한 정의는 OECD (2001)에서 “생산행위를 통해 외부효과나 공공재 성격을 가지는 결합생산물”로 정의했다. 다원적 기능의 핵심적 특징으로 결합생산 (Joint production), 외부효과와 시장실패 (market failure), 공공재적 성격 (public goods aspect)이라고 명확하게 정의한 바 있다. 그러나, 생태계서비스는 FAO를 중심으로 다원적 기능 보다는 범주가 더 넓은 개념으로 사용되고 있다. 생태계서비스는 식량, 섬유 등을 공급하는 공급기능, 물이나 공기 순환을 통한 조절기능, 문화기능, 지지기능 등으로 서비스를 네 가지 범주로 구분하고 있다. 대부분의 기능이 농업의 다원적 기능을 포함하고 있으며 보다 폭이 넓다.

생태계서비스의 개념을 최초로 제안한 사람은 Westman (1977)으로 생태계가 제공하는 다양한 편익을 열거했다. Ehrlich and Enrich (1981)에 의해 생태계서비스란 용어가 본격적으로 사용되었다. 그 후 연구자들은 생태계서비스를 보는 관점들이 약간씩 달랐다. Daily (1997)는 생물다양성을, Costanza et al. (1997)는 생태계 기능을, de Groot et al. (2002)은 인간의 필요측면을, 그리고, MA (2005)는 인간이 생태계로부터 얻는 편익에 대한 관점에서 생태계서비스를 보았다.

이 두 가지 기능을 비교할 때 다원적 기능은 영농중심으로 발생하여 시장에서 거래되지 않는 기능을 말하고, 생태계서비스는 생태계기능과 자연환경으로부터 인간이 무료로 얻을 수 있는 다양한 많은 혜택이라고 할 수 있다. 다원적 기능은 영농활동의 산출물이며, 생태계서비스는 생태계 산출물로 구분할 수 있다 (Jiao et al., 2015). 이 두 가지 기능은 토양의 기능 (function)이라는 공통분모를 가지고 있다. 최근 생태계 서비스중 바이오매스 생산기능과 관련해서는 Kim et al. (2017)이 연구 결과를 발표하기도 했다.

공익기능에 대해서는 농업·농촌 및 식품산업기본법 3조 9항에 다음과 같이 정의하고 있다. “식량의 안정적 공급, 국토환경 및 자연경관의 보전, 수자원의 형성과 함양, 토양유실 및 홍수의 방지, 생태계의 보전, 농촌사회의 고유한 전통과 문화의 발전”에 해당하는 기능을 말한다고 명시되어 있다. 따라서, 다원적 기능보다는 범위가 크며, 토양의 생태계서비스와 유사하다고 보여 진다.

따라서, 본 연구의 목적은 토양의 다원적 기능과 생태계서비스에 대한 연구현황을 살펴보고, 토양의 기능을 통한 농업의 공익기능에 포함될 수 있는 항목을 제안하고자 한다.

Materials and Methods

농업의 공익적 기능을 OECD (2001)의 항목에 맞춰 기능을 검토했다. OECD에서는 환경보전, 경관, 농촌활력, 식량안보, 문화유산, 동물복지 등 대분류를 6가지로 하고 있으며, 환경보전은 종생태다양성, 토양질, 수질, 대기질, 물이용, 토지보전, 온실가스로 7가지로 세분하고 있다.

토양의 생태계서비스는 FAO의 4가지 서비스 (공급서비스, 조절서비스, 문화서비스, 지지서비스)에 맞춰 기능을

분류하고 평가했다. 공급서비스로는 바이오매스(식량, 목재 등), 담수기능은 수자원함량을 분석했다. 조절서비스로는 지역기후대기질에 탄소격리, 폐기물처리, 수질정화, 홍수조절기능을, 물흐름 제어기능으로는 토양유실저감, 양분공급기능을 평가했다. 지지서비스의 유전자원다양성은 생물다양성을 분석했다. 토양의 생태계서비스에 사용모형은 다음과 같다.

작물생산모형은 총수입에서 경영비를 뺀 값으로 했다. 농업면적통계(Statistics Korea, 2017), 농축산물소득자료집(RDA, 2017)자료, 단가는 농축산물소득자료집을 이용했다. 농축산물소득자료집에서 작물을 9개 작목으로 유형화(미곡, 맥류, 두류, 잡곡, 서류, 채소, 과수, 특용작물, 기타)했다. 콩은 두류, 노지팥옥수수는 잡곡으로, 노지채소와 시설채소는 채소로, 노지과수와 시설과수는 과수로, 참깨, 엽연초, 인삼, 녹차, 오미자는 특용작물로, 화훼는 기타로 분류했다.

수자원함양기능은 논토양과 밭토양을 구분했다. 논토양의 경우에는 [담수기간 × 평균투수속도 × (1-하천유입율) + 평균담수심]으로, 밭토양은 [포화수리전도도 × 투수기간 × (1-하천유입율)]의 모형을 사용했다. 투수계수는 Seo et al. (2008)의 자료, 물 값은 수자원공사(Kwater, 2018)의 정수원가(433원/톤)를 사용했다. 논이 담수기간, 평균투수속도, 평균 담수심은 기존 농촌진흥청(2008b)자료, 밭의 포화수리전도도는 Eom and Yun (2000)자료를, 투수기간은 일일 강우량이 80 mm 이상인 연간일수로 기상청(KMA, 2001a; 2001b)자료를, 하천 유입율 57%를 적용했다(MAF, 2001)

탄소격리는 [작물잔사량(그루터기 + 뿌리) × 탄소함량(%) × 연간분해율(%)]모형을 사용했으며, 관련자료는 농촌진흥청정보고서(2007; 2008a)자료를 활용했다. 탄소분해율은 50%를, 탄소거래가는 2017년 한국거래소(KRX, <http://marketdata.krx.co.kr/md#document=1306301>) 톤당 평균값인 20,659원을 적용했다.

폐기물처리는 (음식물쓰레기 및 가축분뇨발생량) × (처리비용)모형으로 평가했다. 음식물쓰레기 발생량은 전체 4,109,715톤 중에서 40.6%를 퇴비화로 활용되는 1,668,678톤을 적용(ME and KECO, 2017)했으며, 음식물쓰레기 톤당 처리단가는 환경부의 음식물쓰레기 처리비용 156,556원(ME, 2013a)을 적용했다. 가축분뇨발생량은 46,489,000톤 중에서 자원화중 퇴비로 활용되는 81.0%인 37,656,000톤(ME, 2013b), 가축분뇨퇴비화 처리단가는 환경부(ME, 2011)의 144,966원/톤을 적용했다.

논의 수질정화는 (관개수량 × 오염관개수비율 × 정화율 × 면적) 모형으로 사용했으며, 계수는 농촌진흥청(RDA, 2002)자료, 오염관개비율은 10%로, 논이 정화율은 50%, 톤당 처리단가는 환경부 하수종말처리비용 3,404원(ME, 2016)를 적용했다.

홍수조절은 논, 밭으로 구분한 모형을 사용했다. 논이 홍수조절은 [(논둑높이 - 평균담수량) + 투수속도 × 연평균홍수기간]을, 밭의 홍수조절기능은 (홍수기강수량 - 홍수시유출량)을 사용했다. 각각의 모형과 계수는 Seo et al. (2008) 자료, 톤당 단가는 댐건설비용 747.5원을 적용했다(Kim et al. 2006)

논의 토양유실저감은 밭의 (강우인자 × 토성인자 × 지형인자 × 작부인자 × 토양관리인자) 모형을 사용해, 단위면적당 유실량을 구한 후 논에 적용했다. 모형과 계수는 Hyun et al. (2002)자료, 객토단가는 인터넷자료 7,930원/톤([http://www.newsis.com.solutions for highland soil loss](http://www.newsis.com.solutions%20for%20highland%20soil%20loss) (2013.08.04.))을 적용했다.

양분공급은 논(벼), 밭(옥수수) 무비재배시 토양자체 양분공급량으로 설정했다. 논이 양분공급량은 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 규산을 밭의 양분공급량은 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 공급량을 산출했다. 관련 자료는 농촌진흥청시험보고서(2007; 2008a)를, 비료단가는 농협의 비료시장가격(AC, 2018)을 적용했다. 질소는 요소, 인산은

용성인비, 칼륨은 염화加里, 칼슘은 생석회, 마그네슘은 석회고토, 규산은 규산질비료가격으로 평가했다.

토양자체의 양분공급량은 무비구 [바이오메스총합 (곡실 + 작물체) × 각 평균양분함량]으로 평가했으며, 단가는 비료의 시장가격을 적용했다.

질소고정은 (질소고정량 × 단가)로 평가했으며, Kim et al. (1984)자료를 활용했다. 단가는 요소비료가격 430,000원을 적용했다.

생물다양성은 화분수정과 생물학적방제에 사용된 금액을 Costanza (1997)자료, 단가는 달러를 한화 1,067원/\$ (2018.4.30.)로 적용했다.

총자산가치로서 양분함유량은 모형은 (단위면적 × 깊이 × 용적밀도 × 토양양분)으로 했다. 토양양분 (무비구)은 전 질소, 유효인산, 치환성양이온 (칼륨, 칼슘, 마그네슘)으로, 관련자료는 농진청시험보고서 (2007; 2008a)와 비료시장 가격 (AC, 2018)을 활용했다.

총자산가치로서 탄소저장의 모형은 (장기연용 무비구 탄소함량 × 단가 × 환산계수)로 했다. 관련 자료는 농촌진흥청시험보고서 (RDA, 2007; 2008a), 단가는 톤당 퇴비의 시장거래가 500,000원을 건물기준으로 적용했다.

Results and Discussion

FAO에서 제시한 생태계서비스는 토양과 밀접한데, 토양과 관련된 기능을 Table 1에 나타냈다. 생태계 서비스 중 토양과 관련된 기능은 기후, 물, 토양, 생물 등과 관련된 조절서비스에서 가장 많았다. 다음으로는 바이오메스 등을 생산하는 공급서비스, 지지서비스였다. 문화서비스는 가장 낮은 관계성을 보이고 있다.

Table 1. Soil-related ecosystem services.

Ecosystem services	Item of ecosystem services	Function of soil-related
Provisioning	Food (food, wood etc)	Food production
	Raw materials	
	Freshwater	Water resource
	Medicinal resources	
Regulating	Local climate air quality	
	Carbon sequestration and storage	Carbon sequestration
	Waste-water treatment	Waste treatment
		Water purification
	Moderation of extreme events	Mitigation flood
	Regulation of water flow	
	Erosion prevention and maintenance of soil fertility	Mitigation soil erosion Nutrient supply
Supporting	Biological control	
	Pollination	
	Habitat for species	Biodiversity
Cultural	Maintenance of genetic diversity	
	Recreation and mental and physical health	
	Tourism	
	Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design	
	Spiritual experience and sense of place	

공급서비스 생태계서비스의 공급서비스 중에서 작물생산을 살펴보면 다음과 같다.

작물생산 작물생산기능은 전체 작물을 9개의 작목으로 유형화했으며, 소득은 총수입에서 경영비의 차로 구했으며, 재배면적을 곱하여 평가했다. 40조 6,213억원으로 평가되었다 (Table 2).

Table 2. Evaluation amount of crop production on different crop groups.

Crop	Cultivated area (ha)	Yield (kg ha ⁻¹)	Revenue (won ha ⁻¹)	Operating expense (won ha ⁻¹)	Income (won ha ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Rice	799,344	5,420	8,561,650	4,266,180	4,295,470	34,336
Barley	44,292	5,420	8,561,650	4,266,180	4,295,470	1,903
Pulse	69,227	1,540	6,141,000	2,227,580	3,913,420	2,709
Mis. grains	30,388	23,580	17,120,130	5,298,980	11,821,150	3,592
Potatoes	39,591	10,180	10,607,593	3,930,913	6,676,680	2,643
Vegetables	262,522	59,719	103,395,427	50,531,252	52,864,175	138,780
Orchards	166,473	25,235	70,478,796	28,981,940	41,496,856	69,081
Speciality crops	97,670	3,432	66,532,780	27,244,960	39,287,820	38,372
Others	134,674	713,775	251,912,100	166,671,520	85,240,580	114,797
Total	1,644,181	848,301	543,311,126	293,419,505	249,891,621	406,213

수자원함양 수자원기능은 지하수함양기능이라고 한다. 논인 경우에는 벼 재배시 담수된 물이 투수되면서 지하수로 유입되는 양을, 밭의 경우에는 토양이 충분히 포화되었을 경우에 강우가 지하로 이동되는 양으로 평가했다. Table 3은 논과 밭의 수자원함양기능을 평가하는 각각의 모형 계수이다.

Table 3. The coefficient for model of water resource rearing function of paddy and upland field.

Paddy	Period of water (d)	Av. permeability rate (mm day ⁻¹)	Stream inflow rate	Mean water depth (mm)	Water resource rearing (Million tons)
	113	7.6	0.57	45	3,710
Upland	Sat. hydraulic conductivity (mm)	Period of permeability (day yr ⁻¹)	Stream inflow rate	-	Water resource rearing (Million tons)
	9.9	4.4	0.57	-	140

Table 4는 지하수함양량을 나타낸 것이다. 산정한 결과 논은 1조 6068억원, 밭은 607억원으로 평가되었다. 농경지의 총평가액은 1조 6675억원으로 평가되었다.

Table 4. Evaluation amounts of water resources rearing function of cropland.

Division	Area (ha)	Water resources rearing (Million tons)	Price of water (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy	895,739	3,710	433	16,068
Upland	747,860	140	433	607
Total	1,643,599	3,850	433	16,675

조절서비스 생태계서비스 중 조절서비스에는 토양과 관련된 탄소격리, 폐기물처리, 수질정화, 홍수조절, 토양 유실저감, 양분공급기능 등이다. 각각의 기능들을 살펴보면 다음과 같다.

탄소격리 탄소격리기능은 토양내 탄소함유량을 평가한 것이다. 비료를 투입하지 않은 무비의 경우에 작물잔사(그루터기 + 뿌리)에 의해 토양탄소로 격리되는 양을 평가했다. Table 5는 논외의 작물잔사에 의한 토양탄소격리기능을 나타낸 것이다. 작물잔사는 ha당 1.94톤이며, 탄소거래가를 적용시 67억원으로 산정되었다.

Table 5. Evaluation amount of carbon sequestration of paddy.

Division	Area	Av. remaining amount	Content of carbon	Price of carbon trading	Valuation
	(ha)	(Tons ha ⁻¹)	(%)	(won tons ⁻¹)	(Billion won)
Paddy	895,739	1.94	37.6	20,659	67

폐기물처리 Table 6의 폐기물처리기능은 농경지가 퇴액비의 토양유입에 따른 처리비용을 절감하는 효과로 평가했다. 음식물쓰레기와 가축분뇨의 발생량 중에서 퇴비나 퇴액비로 활용되는 비율을 적용했다. 음식물폐기물 절감 효과는 2613억원, 가축분뇨의 절감효과는 5조 4588억원으로 평가되었다. 전체평가액은 5조 7201억원으로 평가되었다.

Table 6. Evaluation amount of waste treatment of farmland.

Division	Annual output (Thousand ton)	Processing cost (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Food waste	1,669	156,556	2,613
Livestock manure	37,656	144,966	54,588
Total	39,446	-	57,201

수질정화 수질정화기능은 논에만 적용하였으며, 수질오염물질이 함유된 관개수가 논에 유입되었을 때 벼가 이를 흡수 정화하는 기능이다. 정화물량에 대한 하수종말처리 비용으로 환산하였다. Table 7은 논외의 수질정화기능 모형에 따른 계수 값이다.

Table 7. Coefficient of evaluation model of water purification of paddy.

Division	Amount of Irrigation water (mm)	Rate. of contaminated irrigation water	Purification rate	Mass of water purification (ton)	Amounts of water purification (Billion ton)
Paddy	1,226	0.1	0.5	549,008,007	5.5

Table 8은 논외의 수질정화기능에 대한 평가액으로 1조 8691억원으로 평가되었다.

Table 8. Evaluation of water purification of paddy.

Division	Area (ha)	Mass of water purification (Billion ton)	Price of water (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy	895,739	5.5	3,404	18,691

홍수조절 홍수조절기능은 논과 밭의 모형을 달리했다. 논은 논이 가지는 담수량으로 논둑높이, 투수속도를 통하여 평가했으며, 밭은 밭이 가지는 저유량을 평가했다. Table 9는 논과 밭의 홍수조절기능에 대한 평가모형 계수들이다.

Table 9. Flood control function evaluation model coefficient of farmland.

Division	Depth of dike (mm)	Av. water depth (mm)	Permeability (cm d ⁻¹)	Av. annual flood period (d)	Rainfall during the flood season (mm)	Amount of flood flow (mm)	Amounts of flood control (mm)
Paddy	261	45	7.6	4.4	-	-	249.44
Upland	-	-	-	-	223.8	151.2	72.6

Table 10은 농경지의 홍수조절기능 산정액으로 논인 경우 1조 6702억원, 밭은 4,059억원으로 평가되었다. 농경지 총량으로는 2조 760억원으로 평가되었다.

Table 10. Evaluation amount of flood control of farmland.

Division	Total amounts (mm)	Price of dam (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy	2,234,331,362	747.5	16,702
Upland	752,946,360	747.5	4,059
Total	2,987,277,722	-	20,760

토양유실저감 토양유실 저감기능은 논에서 논둑으로 인해 토양유실이 거의 없는 논을 대상으로 평가했다. 밭에서 유실되는 토양의 양을 객토비용으로 환산했다. Table 11은 밭의 토양유실량을 평가하기 위한 모형 및 계수들이다.

Table 11. Evaluation amount of soil loss model coefficient of upland.

Division	Rainfall intensity factor	Soil erodibility factor	Topographic factor	Crop factor	Soil management practices factor	Amounts of soil loss (ton ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Upland	429.4	0.15	1.72	0.275	0.865	26.1

Table 12는 논인 토양유실 저감기능을 평가한 결과이다. 논인 토양유실 저감액은 1,852억원으로 평가되었다.

Table 12. Evaluation of prevention of soil loss of paddy.

Division	Area (ha)	Amounts of soil loss (10 thousand ton)	Price of soil dressing (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy	895,739	2,336	7,930	1,852

양분공급 양분공급기능은 논에서는 벼를, 밭에서는 옥수수를 재배하는데 있어서 토양자체에서 작물을 생산하는데 필요한 양분의 공급량이다. 양분공급량을 비료가치로 환산하여 평가했다. Table 13은 농경지의 양분공급 평가 모형에 대한 계수들이다.

Table 13. Nutrient supply model coefficient of farmland.

Division	Amounts of nutrient supply soil itself (kg ha ⁻¹)					
	Nitrogen	Phosphorus	Potash	Calcium	Magnesium	Silicate
Paddy (rice)	42	27	58	21	12	249
Upland (corn)	32	16	82	82	9	-

Table 14는 논과 밭의 양분공급기능에 대한 평가이다. 논인 경우에는 2701억원, 밭의 경우에는 1052억원으로 평가되었다. 농경지 총액은 3752억원으로 평가되었다.

Table 14. Evaluation amount of nutrient supply of farmland.

Land use	Division	Amounts of nutrient supply (kg ha ⁻¹)	Area(ha)	Amounts of total supply (ton)	Conversion factor	Price of fertilizer (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)	Remarks
Paddy (rice)	Nitrogen	42	895,739	37,845	2.17	430,000	353.1	Urea
	Phosphorus	27	895,739	23,963	5	440,000	527.2	Fused phosphate
	Potash	58	895,739	52,004	1.67	480,000	416.9	Potassium chloride
	Calcium	21	895,739	18,875	1.25	150,000	35.4	Unslaked lime
	Magnesium	12	895,739	10,447	1.88	150,000	29.5	Calcium magnesium
	Silicate	249	895,739	223,100	4	150,000	1338.6	Silicate slag
	Subtotal	-	-	-	-	-	-	2,701
Upland (corn)	Nitrogen	13	747,860	24,261	2.17	430,000	226.4	Urea
	Phosphorus	16	747,860	12,074	5	440,000	265.6	Fused phosphate
	Potash	82	747,860	61,663	1.67	480,000	494.3	Potassium chloride
	Calcium	32	747,860	24,160	1.25	150,000	45.3	Unslaked lime
	Magnesium	9	747,860	7,070	1.88	150,000	19.9	Calcium magnesium
	Subtotal	-	-	-	-	-	-	1,052

질소고정 질소고정기능 농토양에 서식하는 미생물 및 조류 등에 의해서 공중질소를 고정하는 양이다. 질소고정량을 질소비료가치로 환산했다. Table 15는 논으로 사용시 질소고정 평가모형에 대한 계수들이다. 논으로 이용시 질소고정 평가액은 9억 2천만원으로 평가되었다.

Table 15. Evaluation amount of Nitrogen fixation of paddy.

Land use	Amounts nitrogen fixation (kg ha ⁻¹)	Area of paddy (ha)	Total amounts of nitrogen fixation (ton)	Price of fertilizer (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy (rice)	2.39	895,739	2,141	430,000	9.2

지지서비스

생물다양성 Table 16은 지지서비스 중에서 생물다양성 기능에 대한 평가를 수행했다. Costanza et al. (1997) 자료를 활용했다. 화분수정과 생물학적 방제에 대한 금액을 적용할 때 논의 363억원, 밭은 303억원으로 평가되었다. 농경지 총액은 666억원으로 평가되었다.

Table 16. Evaluation amount of biodiversity of farmland.

Land use	Pollination	Biological control	\$ ha ⁻¹ yr ⁻¹	Area (ha)	Valuation (Billion won)
Paddy	14	24	38	895,739	363
Upland	14	24	38	747,860	303
Total	-	-	-	1,643,599	666

양분함유량과 탄소저장량의 총가치 생태계서비스의 조절서비스중에서 양분함량기능과 탄소격리기능은 연간가치기능으로 평가되었다. 그러나, 양분함유량과 탄소저장량으로 분석할 경우에는 총자산가치로도 표현될 수 있다. 각각을 분석하면 다음과 같다.

양분함유량 양분함유량평가는 양분공급기능과 모형은 같으나, 무비상태로 현재 토양이 가지고 있는 총량은 Table 17과 같다. 논과 밭의 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 함량을 평가했다.

Table 17. Nutrient content model coefficient of farmland.

Division	Nutrient content (kg ha ⁻¹)				
	Nitrogen	Phosphorus	Potash	Calcium	Magnesium
Paddy	45,833	73	17	284	36
Upland	20,598	99	28	324	67

Table 18은 농경지의 양분함유량이다. 논의 경우에는 4조 446억원, 밭의 경우에는 1조 6762억원이다. 농경지 총량은 5조 7208억원으로 평가되었다.

Table 18. Evaluation amount and nutrient content of farmland.

Land use	Division	Amount nutrient supply (kg ha ⁻¹)	Area (ha)	Total amounts (ton)	Conversion factor	Price of fertilizer (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)	Remarks
Paddy (rice)	Nitrogen	4,583	895,739	4,105,423	2.17	430,000	38,308	Urea
	Phosphorus	73	895,739	65,740	5	440,000	1,446	Fused phosphate
	Potash	17	895,739	15,457	1.67	480,000	124	Potassium chloride
	Calcium	284	895,739	254,588	1.25	150,000	477	Unslaked lime
	Magnesium	36	895,739	32,330	1.88	150,000	91	Calcium magnesium
	Subtotal	-	-	-	-	-	40,446	-
Upland (corn)	Nitrogen	2060	747,860	1,540,405	2.17	430,000	14,374	Urea
	Phosphorus	99	747,860	73,822	5	440,000	1,624	Fused phosphate
	Potash	28	747,860	20,896	1.67	480,000	167	Potassium chloride
	Calcium	324	747,860	242,519	1.25	150,000	455	Unslaked lime
	Magnesium	67	747,860	50,346	1.88	150,000	142	Calcium magnesium
	Subtotal	-	-	-	-	-	16,762	-

탄소저장량 탄소저장량은 탄소격리와 같은 모형이나 현재의 토양이 탄소를 가지고 있는 함량을 총가치로 평가한 것이다. Table 19는 농경지의 탄소저장량이다. 논인 경우 37조 3746억원, 밭의 경우 18조 6943억원으로 평가되었다. 농경지 총 가치로는 56조 689억원으로 평가되었다.

Table 19. Evaluation amount of carbon stock in farmland.

Division	Area (ha)	Carbon contents (kg ha ⁻¹)	Total amount (ton)	Conversion factor	Price of compost (won ton ⁻¹)	Valuation (Billion won)
Paddy	895,739	41,725	37,374,551	2	500,000	373,746
Upland	747,860	24,997	18,694,332	2	500,000	186,943
Total	1,643,599	66,722	56,068,883	-	-	560,689

토양의 가치를 연가가치로 평가하거나 총 가치로 평가하는 방법에 따라서도 가치액수가 달라지기 때문에 어떤 기준을 적용하느냐도 고려해야 할 중요 사항중 하나이다.

토양의 생태계서비스 가치평가 Table 20은 생태계서비스 중에서 토양과 관련된 기능을 평가한 결과 연간가치로 52조 2054억원으로 평가되었다.

Table 20. Evaluation amount of soil-related ecosystem services.

Ecosystem services	Item of ecosystem services	Function of soil-related	Annual value (Billion won)
Provisioning	Biomass (food, wood etc)	Food production	406,213
	Raw materials		
	Freshwater	Water resource	16,675
Regulating	Medicinal resources		
	Local climate air quality		
	Carbon sequestration and storage	Carbon sequestration	67
	Waste-water treatment	Waste treatment	57,201
		Water purification	18,691
	Moderation of extreme events	Mitigation flood	20,760
	Regulation of water flow		
	Erosion prevention and maintenance of soil fertility	Erosion prevention	1,852
Supporting	Biological control	Nutrient supply	3,752
	Pollination		9
	Habitat for species	Biodiversity	666
	Maintenance of genetic diversity		
Cultural	Recreation and mental and physical health		
	Tourism		
	Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design		
	Spiritual experience and sense of place		
Total			522,054

농업의 다원적 기능과 토양의 생태계서비스 기능비교 농업의 다원적 기능은 명확한 정의에 따라 영농 활동 시 발생, 시장실태, 공공재성격을 갖추어야 한다. 따라서, Table 20에서의 결과 중에서 공급 서비스 중에 작물생산기능은 시장가치로 평가되기 때문에 농업의 다원적 기능에서 제외되어야 할 것이다. 그리고, 기온순화, 대기정화 기능은 농업환경보전 측면에서 포함되어야 할 것으로 판단된다. 그리고, 문화서비스 중 농촌에서 발생하는 경관, 농촌활력, 식량안보 기능 포함하여 평가되어야 한다. Table 21에서와 같이 농업의 다원적 기능의 가치를 재평가하면 30조 9184억원으로 평가될 수 있을 것이다.

Table 21. Item and evaluation of agricultural multi-functionality.

Function	Amount (thousand ton)	Annual evaluation (Billion won)
Water resource	3,850,000	16,675
Nutrient supply	495	3,752
Carbon sequestration	56,069	67
Waste treatment	38,343	57,201
Flood control	2,987,278	20,760
Water clean	549,008	18,691
Erosion prevention	23,360	1,852
Biodiversity		666
Mitigation air temperature	4,032,000	37,722
Purification air		58,859
Landscape		20,552
Agricultural activity		41,040
Food security		31,158
Total		309,184

토양의 생태계서비스 추가기능 제안 생태계 서비스 중에서 토양기능과 관련하여 현재는 자료, 모형 등의 부재로 평가가 어렵지만 추후에 평가가 가능한 것을 제안하면 Table 22와 같다. 공급서비스 중에서는 바이오에너지공급기능, 희토류공급기능, 의약품원료생산기능 등을 들 수 있다. 조절서비스 중에서는 미세먼지 등 오염물질 저감기능, 가뭄 저감기능 등을 들 수 있다. 관련 자료의 확보와 모형과 계수가 개발되면 추후에 평가가 가능할 것으로 생각된다.

Table 22. Soil-related ecosystem services.

Ecosystem services	Item of ecosystem services	Function of soil-related
Provisioning	Biomass(Food, wood etc)	Energy through biomass
	Raw materials	Rare earth supply
	Freshwater	
	Medicinal resources	Medicinal resources supply
Regulating	Local climate air quality	Contaminant reduction function such as fine dust
	Carbon sequestration and storage	
	Waste-water treatment	
	Moderation of extreme events	Drought resistant
	Regulation of water flow	
	Erosion prevention and maintenance of soil fertility	
	Biological control	
Supporting	Pollination	
	Habitat for species	
	Maintenance of genetic diversity	

Conclusions

최근 농업의 공익기능에 대한 관심이 높아지고 있다. 이와 관련해서 농업의 다원적 기능 및 토양의 생태계서비스의 개념 및 범위에 대해 검토가 이루어지고 있다. 생태계서비스와 농업의 다원적 기능은 토양이라는 공통분모를 가지고 있다. 농업의 공익기능에 대한 개념, 범위, 내용을 확장하려면, 토양의 기능을 잘 분석하면, 가능할 것으로 판단된다. 따라서, 토양과 관련된 생태계서비스 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최근 토양의 생태계 서비스를 4가지로 구분하고 있다. 가장 광범위하게 사용하고 있는 FAO의 생태계 서비스는 공급서비스, 조절서비스, 지지서비스, 문화서비스로 구분되고 있다.
2. 공급서비스로는 작물생산, 수자원함량기능을 포함한다. 조절서비스는 탄소격리, 폐기물처리, 수질정화, 홍수 조절, 토양유실저감, 양분공급기능이 토양과 관련된 기능들이다. 지지서비스는 생물다양성을 들 수 있다.
3. 생태계서비스 기능은 연간가치평가와 총자산가치로 구분할 수 있다. 양분함량기능과 탄소격리기능은 연간가치로 평가할 수도 있고, 양분함량유량과 탄소저장량평가를 총 가치로도 평가할 수 있다.
4. 토양의 생태계서비스 추가기능으로 제안하는 기능은 공급서비스의 경우 바이오매스를 통한 에너지공급기능, 희토류공급기능, 의약품생산기능, 미세먼지 등 오염물질 저감기능을 들 수 있다. 조절서비스로는 가뭄 저항기능 등을 들 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (과제번호: PJ0139082018) “농경지 토양자원의 가치평가”의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Agricultural Cooperatives(AC). 2018. Price of fertilizer(internal data)
- Agriculture Rural Food Industry Act(<http://www.law.go.kr>)
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V.O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 397:253-260.
- Daily, G.C(Ed). 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, D. C.
- de Groot, R.S., M.A.Wilson, and R.M.J. Bounmans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem. functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41:393-408.
- Ehrlich, P.R., and A.H. Enrich. 1981. *Extinction: the course and consequences of the disappearance of species*, Random House, New York.
- Eom, K.C., and S.H. Yun. 2000. Evaluation of environmental benefit of agriculture(2000 Agriculture science technique symposium). *Agric. Sci. Technol.* 1-39.
- FAO. 2018. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/en/>
- <http://www.newsis.com>. solutions for highland soil loss(2013.08.04.)
- Huang, J., M. Tichit, M. Polulot, S. Darly, S. Li, C. Petit, and C. Aubry. 2015. Comparative review of multifunctionality and ecosystem services in sustainable agriculture. *J. Environ. Manage.* 149:138-147.
- Hyun, B.K., M.S. Kim, K.C. Eom, K.K. Kang, H.B. Yun, M.C. Seo, and K.S. Sung. 2002. Evaluation on national environmental functionality of farming on soil loss using the USLE and replacement cost method. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(6):361-371.
- Kim, J.H., K.H. Lee, C.W. Park, J.W. Seo, Y.M. Son, K.H. Kim, H.J. Yun, C.Y. Park, S.W. Lee, and J.S. Oh. 2006. Nonmarket valuation of forest resources in Korea. *J. Korean Inst. For. Recreation.* 10(2):7-15.
- Kim, S.C., Y.K. Hong, S.P. Lee, S.M. Oh, K J. Lim, and J.E. Yang. 2017. Calculating soil quality index for biomass production based on soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(1):56-64.
- Kim, Y.W. and K.S. Kim. 1984. Effects of rice straw on the microflora in submerged soil(Ⅲ. Microflora in relation to nitrogen fixation and acetylene reducing activity). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 17(4):399-405.
- Kim, Y.Y., H.K. Jung, and J.H. Min. 2013. The evaluation of the economic and public values of agriculture and rural area in Korea. Research report. KREI.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2001a. The table of Korea weather. p. 632.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2001b. The system of weather analysis. <http://203.247.66.214/main.html>
- KRX. 2018. <http://marketdata.krx.co.kr/md#document=1306301>
- Kwater. 2018. Water price notice. http://www.kwater.or.kr/cust/sub04/sub01/char/char04Page.do?s_mid=1585
- MA. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- ME and KECO. 2017. The 5th (2016-2017) waste statics survey of whole country.

- ME. 2011. The study on economic analysis and improvement of installation and operation through assesment of livestock manure treatment facilities by type. p. 137.
- ME. 2013a. Reduce food waste. Great practice to keep one and only earth.
- ME. 2013b. Long term livestock manure disposal measures (interal data). p. 2.
- ME. 2016. Sewage statistics.
- Ministry of Agriculture and Forestry (MAF). 2001. 2001 water quality analysis reports of agricultural water. MAF-Agricultural infrastructure corporation. p. 131.
- OECD. 2001. Multifunctionality: towards an Analytical Framework, OECD.
- RDA. 2002. Environmental conservation of paddy and landscape evaluation. Agricultural management research. 68; 1-74.
- RDA. 2007. Long term effect of fertilizer. Annual report.
- RDA. 2008a. Long term effect of the same organic matter on upland. Annual report.
- RDA. 2008b. Evaluation of agricultural multi functionality (research results and apply). p. 14.
- RDA. 2017. 2016 Agriculture and livestock Income book.
- Seo, M.C., K.K. Kim, B.K. Hyun, H.B. Yun, and K.C. Eom. 2008. The study on quantifying and evaluation for the function of flood control and fostering water resources in agriculture. Korean J. Soil Sci. Fert. 41(2):143-152.
- Statistics Korea. 2017. 2016 Statistics of Agriculture area .
- Westman, W.E. 1977. How much are nature's services worth. Science. 197:960-964.