

산림생태계서비스지불제의 비용효과성 평가를 위한 지수체계 개발 및 적용

안소은¹·노백호^{2*}

¹한국환경정책·평가연구원 환경전략연구실, ²계명대학교 환경계획학과

Development and Application of Index Framework to Assess Cost-effectiveness of Payments for Forest Ecosystem Services in Korea

SoEun Ahn¹ and Paikho Rho^{2*}

¹Division of Environmental Strategy, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

²Department of Environmental Planning, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

요약: 본 논문은 산림부문을 대상으로 국내 적용 가능한 생태계서비스지불제 유형 및 구성요소를 설계하고 지불제 이행을 위한 지수체계를 개발하는 한편 사례분석을 통하여 지수체계의 적용 가능성을 검토하였다. 지수체계는 3개의 지표그룹 즉, 생태계서비스 공급량 현황, 산림관리계획 수립으로 인해 예상되는 생태계서비스 개선정도, 프로그램 이행을 위한 실질비용 측정을 위한 지표그룹으로 구성하였다. 사례분석 결과 생태계서비스 공급량에 있어 동일한 측정값을 나타낼지라도 관리요소 및 실질비용 시나리오에 따라 생태계서비스 종합점수는 최저 301점에서 최고 501점까지(충북 괴산군 사례지역 1의 경우) 또는 최저 273점에서 최고 460점(강원 평창군 사례지역 2의 경우)까지 차별화되는 것으로 나타났다. 이는 토지소유자가 어떤 수준의 관리계획과 모니터링을 선택했는지에 따라 단위비용당 종합점수로 표현되는 비용효과성이 다양하게 나타날 수 있음을 예시하는 결과로서, 지불제 이행 시 생태계서비스 점수만을 고려할 경우와 비용효과성 측면을 동시에 고려할 경우 상이한 결론 도출이 가능하다는 것을 시사하고 있다.

Abstract: The aim of this study is 1) to design an auction-type and area-based payments for ecosystem services (PES) in application to private forest in Korea, 2) to develop the framework of index to implement the PES program proposed, and 3) to examine the feasibility and validity of the index framework by conducting a case study. The index framework measures quantities of ecosystem services currently supplied, improvement of ecosystem services anticipated from the proposed management activities, and real implementing costs of the program. The total scores from the case study vary from 301 to 501 for site 1, Goesan-gun and 273 to 460 for site 2, Pyeongchang-gun, respectively, indicating that total index score - measurement of cost-effectiveness - can be varied by the levels of management and real cost even if the scores from ecosystem service indicator group are the same. The index framework which can locate a cost-effective program has significant policy implication given the budget constraints in biodiversity/ecosystem services policy arena.

Key words: cost-effectiveness, index, indicators, payment for ecosystem services, sustainable forest management

서론

생태계서비스지불제(payments for ecosystem services; PES)는 수혜자부담원칙에 근거한 생물다양성 부문의 대표적 경제적 정책도구¹⁾로서, 자발적 계약에 근거하여 특정 생태계서비스의 수혜자가 공급자에게 서비스 이용에

대한 일정액의 대가를 지불하는 다양한 형태의 계약을 총칭한다(OECD, 2010). 이때 계약조건은 해당 생태계서비스 공급유지 및 개선에 영향을 미치는 자원관리가 주를 이룬다. 생태계서비스지불제는 기존의 생물다양성 보전 메커니즘에 비해 보다 능동적이고 직접적인 정책이며, 경제적 인센티브를 통해 서비스 공급자로 하여금 양질의 서

¹⁾ 생물다양성 보전 및 지속가능한 이용을 위한 대표적인 경제적 정책도구(Economic Policy Instruments)로 생태계(환경)서비스 지불제(Payments for Ecosystem(Environmental) Services, PES), 생물다양성 상쇄제도(Biodiversity Offsets), 생물다양성 은행제도(Biodiversity Banking) 등이 있다.

*Corresponding author
E-mail: wildlife@kmu.ac.kr

비스를 자발적으로 제공하도록 함으로써 바람직한 자원 관리로 유도하는 것을 목표로 하고 있다(Ahn et al., 2008).

전 세계적으로 국가 또는 지역의 정치적·문화적·제도적 여건을 바탕으로 다양한 형태의 생태계서비스지불제가 운용되고 있다. 우리나라의 경우 2000년대 후반 산림부문에서 정책도입을 위한 제도적·법적 타당성 및 요구조건 검토를 중심으로 기초연구²⁾가 수행된 바 있고 시범사업³⁾이 한시적으로 수행되었으나 본격적인 제도운용으로는 정착되지 못하였다. 그러나 새천년생태계평가(MA, 2005)와 생물다양성 경제학(TEEB, 2010) 이후 국내에서도 ‘생태계서비스’ 개념이 자연환경관리 의사결정과정에서 주요 의제로 부상하고 있다. 이는 오염자부담원칙으로부터 수혜자부담원칙으로의 환경정책 패러다임 전환과 맞물려 생태계서비스지불제 국내 도입에 대한 논의를 새롭게 시작하는 계기를 제공하였다.

한편 생태계서비스지불제 이행 및 성과평가를 위해서는 생태계서비스 측정을 위한 정량적 도구가 필수적이다. 생태계서비스 공급현황 측정은 정책평가를 위한 기준선(baseline) 설정 및 정책이행으로 예상되는 추가적인 편익 산정 등에 활용될 수 있으며, 따라서 정책의 효율성 진단을 가능하게 한다. 특히 정책의 비용효과성, 즉 주어진 예산 제약 아래 상대적으로 높은 생태계서비스 공급 및 개선

을 담보로 하는 정책대안의 선택은 주요 의사결정 사항이다. 그러나 생태계서비스 측정에 대한 정책적 수요에도 불구하고 생물다양성·생태계서비스의 유기적 복잡성으로 인하여 측정도구 개발이 현실적으로 쉽지 않은 것이 사실이다.

전 세계적으로 생태계서비스지불제 이행을 위해 정량적 평가도구를 개발하여 활용하고 있는 사례는 제한적이며, 대부분 정성적 평가에 의존하고 있는 실정이다.⁴⁾ 정량적 평가도구로는 지표(indicator) 또는 지수(index)가 대표적이며, 정성적 평가로는 점검목록(checklist)을 활용한 전문가 현장평가가 대표적이다. 최근에는 서식처 조성이나 생물다양성 증진과 같은 토지소유자의 개선노력에 따른 실효성을 평가에 반영하여 토지소유자의 자발적 참여를 유도하고 있다(DSE, 2008). 이와 함께 생태계가 제공하는 공급, 조절 등의 생태계서비스 및 다양한 형태의 관리여건을 생태계서비스지불제 평가지표·지수 체계 설계에 포함하는 시도가 늘어나고 있다(Karousakis, 2012).

본 논문의 목적은 산림부문을 대상으로 국내 적용 가능한 생태계서비스지불제 유형 및 구성요소를 설계하고, 지불제 이행을 위한 지수체계를 개발하는 한편 사례분석을 통하여

Table 1. Design elements of payments for forest ecosystem services in Korea.

Design elements	Contents
Objective of PES program	Maintained and improved the supply of ecosystem services from the private forest areas with a cost-effectiveness
Implementation procedures	Auction type
Buyers	Government financed
Sellers (i.e., suppliers)	Private forest landowners
Type of actions to be implemented	Management actions planned by landowners on the proposals
Payment principles	Compensations
Amount of payments	Fixed payment per ha which is calculated based on the real costs associated with implementing the management actions planned
Area or commodity based	Area based
Ecosystem services subjected	Bundled ecosystem services
Spatial scale	Local to landscape levels

Source: Modified from Ahn et al. (2013)

²⁾ 생태계서비스지불제와 관련하여 체계적으로 기초연구가 수행된 분야는 산림부문이다. 대표적인 선행연구로 「산림환경서비스 지불제 도입 기초연구」(KFRI, 2007), 「수원함양보안림 지불제 도입연구」(KFS, 2007a), 「산림유전자원보호림 지불제 도입연구」(KFS, 2007b), 「산림경관서비스 지불제 도입연구」(KFS, 2008), 「산림환경서비스지불제 법제화 방안연구」(KFS, 2009) 등이 있다.

³⁾ 산림유전자원보호구역보호·관리협약 사업(2011)을 참조하기 바란다. <http://www.forest.go.kr/newkweb/>

⁴⁾ 예외적으로 고유의 지수체계를 개발하여 정책이행에 활용중인 생태계서비스지불제로는 Victorian Bush Tender 프로그램의 생물다양성편익지수(Biodiversity Benefits Index: BBI), Conservation Reserve Program(CRP)의 환경편익지수(Environmental Benefits Index: EBI), Tasmania Forest Conservation Fund(FCF)의 보전가치지수(Conservation Values Index: CVI) 등이 대표적이다.

⁵⁾ 산림부문 지불제 도입을 위한 기술적, 제도적, 법적 타당성 검토는 본 논문의 범위에서 벗어남을 밝혀두고자 한다. 생태계서비스지불제 유형 및 구성요소, 특히 지불형태 및 지불액산정(보상체계)에 대한 이론적 검토 및 국내 적용 가능한 지불제 운영체계 및 메커니즘 설계는 KFS(2009), Ahn(2010)을 참조하기 바란다. 본 논문은 생태계서비스 지불제 프로그램 이행을 위한 지수체계 개발 및 적용에 중점을 둔다.

지수체계의 적용 가능성을 검토하는 데 있다.⁹⁾ 특히 최근 생물다양성 정책 예산지출 관련, 비용효과성의 중요성이 강조됨에 따라 생태계서비스 공급량 측정을 위한 지표그룹에 실질비용 지표그룹을 추가하고 관리여건을 반영하는 지표그룹을 추가하여 생태계서비스 공급현황과 정책이행의 비용효과성을 동시에 고려할 수 있는 도구로 설계하고자 한다.

생태계서비스지불제 유형 및 구성요소 설계

국내 적용 가능한 지불제 유형과 지수체계 설계는 기초연구(Ahn et al., 2008; KFRI, 2010; 2011; KFS, 2008)가 수행되어 상대적으로 관련자료가 축적되어 있는 산림부문을 대상으로 한다. 산림생태계서비스지불제 유형설계의 핵심은 프로그램의 목적과 대상 생태계서비스의 성격을 어떻게 정의하는가에 있다. 먼저 지불제 목적은 사유림으로부터의 생태계서비스 공급유지 및 개선의 비용효과적 달성으로, 대상 생태계서비스는 개별 서비스가 아닌 일정면적에서 제공되는 생태계서비스의 합으로 정의되는 묶음(bundled) 생태계서비스로 설계하였다. 지불제 이행절차는 토지소유자가 담당기관에 해당지역에 대한 제안서를 제출하면, 담당기관은 제안서를 평가하여 순위를 정한 후, 예산범위에서 제안서를 선택·수용하고, 정기적으로 일정액을 자원관리 이행의 대가로 지불하는 경매방식(auction type)으로 설계하였다. 지수체계는 제안서 순위평가에 일차적으로 활용할 수 있다(Table 1).

산림생태계서비스지불제 이행을 위한 지수체계 설계

지수체계 설계는 프로그램 목적-측정목표-지표그룹-세부항목-가중치-지수별 함수식 순으로 진행하였다. 지수체계의 개발절차와 내용은 Table 2에, 선정된 평가지표의 구체적 내용과 측정단위, 점수체계 등은 Table 3에 정리하였다.

지표그룹은 설정된 프로그램의 목적 달성을 위한 측정목표를 기반으로 현재 생태계서비스 공급량(기준선) 측정을 위한 지표그룹, 관리여건에 따른 생태계서비스 개선 잠재력 평가를 위한 관리요소 지표그룹(추가성), 비용효과성 측정을 위한 실질비용 지표그룹으로 구분하였다. 먼저 생태계서비스 지표그룹은 MA(2005)에서 제시한 생태계서비스 분류체계를 참고하였으며, 설계한 지불제 유형이 면적기반이라는 점을 고려하였다. 면적기반 지불제는 목재 또는 휴양·생태관광과 같은 최종생산물에 해당하는 생태계서비스보다는 환경 친화적인 토지이용 및 자원관리를 통해 이러한 상품을 제공하기 위한 기반여건 담보에 프로그램의 목적을 둔다. 따라서 일정면적의 토지로부터 공급 가능한 조절서비스와 지지서비스에 중점을 두어 구성하였다.

이러한 맥락에서 생태계서비스 지표그룹으로는 서식처 제공(지지서비스), 물조절(조절서비스), 대기조절(조절서비스)을 선정하였으며, 여기에 관리여건 잠재적 효과성 측정을 위한 관리요소 지표그룹을 추가하였다. MA(2005)는 지지서비스에 해당하는 서식처제공 지표그룹의 가중치를 물조절과 대기조절의 가중치에 비해 2배 높게 부여하였다.

Table 2. Steps for developing index framework of the payment of forest ecosystem service.

Steps	Details in relation to the PES program in this study
1. Objectives of PES program	Maintain and improve the supply of ecosystem services from the private forest areas with a cost-effectiveness
2. Measurement targets	1) Current supply of ecosystem service (baseline) 2) Expected improvement in the provision of ecosystem services from the management activities planned on the proposals 3) Real implementing costs
3. Indicator groups	1) Ecosystem services: habitat provision, water regulation, and air regulation considering the classification by MA(2005) 2) Management elements 3) Costs (management and monitoring costs)
4. Weight of indicator groups	Weight assigned for each indicator group through literature reviews and case studies
5. Sub-indicators given the selection criteria	Criteria selected: 1) relevance, 2) analytical soundness, 3) measurability (data availability), 5) readiness for the users
6. Scoring system of each sub-indicators	Scoring system for indicators: functional relationships when the relevant information is available, otherwise assume the linear relationship between input and output
7. Weight of each sub-indicators	Weighting system for each sub-indicators: functional relationships when the relevant information is available, otherwise assume the equal weight among each sub-indicator
8. Aggregation	Weighted arithmetic mean

Source: Modified from Ahn et al.(2013)

Table 3. Summary of indicator group, sub-indicators, and scoring system related to payments for forest ecosystem services implementation.

Indicator group ¹⁾		Sub-indicators	Score ²⁾	Unit/Range ³⁾	Data	References	
Ecosystem services	Habitat provision (200)	Species composition	50	%; class[5]	field survey	Choung et al. (2006)	
		Site condition (150)	Structure of vegetation	50	%; class[5]	field survey	Choung et al. (2006)
			Vegetation Conservation Class (VCC)	50	%; class[5]	expert assessment	ME(2009)
	Landscape arrangement (50)	Distance to the core area	10	km; class[10]	GIS		
		Habitat diversity within 1 km	20	%; class[10]	GIS		
		Habitat diversity within 5 km	20	%; class[10]	GIS	KFRI(2010)	
	Water regulation (100)	Water quality/ Water quantity	Quantity of soil erosion prevention	40	m ³ /ha/year; [function]	GIS	KFRI(2010)
			Quantity of surface water	30	index; class[11]	GIS	Famiglietti et al. (1998)
			Quantity of ground water	30	%; class[6]	GIS	KFRI(2010)
	Air regulation (100)	Air quality	Purification of air pollutants (SO ₂ , NO ₂)	50	ton/ha/year; [function]	field survey and GIS	KFRI(2010)
Climate regulation		Carbon stored in above and ground biomass	50	ton/ha/year; [function]	field survey and GIS		
Management (50)	Effectiveness of management plan	Duration of contract	10	years; class[3]			
		Completeness of proposal	20	score[0-10]			
		Elements of potential risks/threats	10	class[3]			
		Area of sites under the contract	10	ha; class[3]	field survey and GIS		
Cost	Cost associated with implementation	Standard forest management cost	-	won ⁴⁾ /ha		KFS(2013)	
		Monitoring cost	-	won/ha		ME(2009)	

1) The numbers in parentheses are the scores assigned (maximum scores available) for each indicator class.

2) The maximum scores available for each sub-indicator

3) This column represents in the unit used for the measurement and how the results are converted to scores; [%; class(5)] indicates that data are measured in % first and, then, are converted to a variable with five classes; [function] indicates that functional relationship is used for scoring

4) The won is Korean currency.

Source: Modified from Ahn et al.(2013)

한편 호주의 산림생태계 보전가치지수(CVI)는 관리지표라 할 수 있는 안정성(security)에 공급 또는 조절서비스와 비교하여 상대적 중요도를 50%로 할당하였다(Eigenraam et al., 2006). 이와 같은 기존 연구사례⁶⁾를 참고로 지표그룹 간 상대적 중요도 초안을 작성하고, 전문가(산림생태학자, 자원경제학자, 행정가)를 대상으로 2차례 심층인터뷰를 거쳐 수정·보완하였다. 최종적으로 서식처 제공, 물조절, 대기조절, 관리요소 지표그룹의 가중치는 2:1:1:0.5로 부여하였으며, 점수는 200, 100, 100, 50으로 설정하였다(Table 3). 비용 지표그룹은 보상에 근거한 실질비용에 초점을 맞추고 숲가꾸기비용과 모니터링비용을 포함하는 것으로 설계하였다.

각각의 지표그룹은 다시 3~5개의 세부항목으로 구성하였으며, 고유의 점수체계를 구축하였다. 세부항목 선정은 각 지표그룹의 측정목표를 염두에 두고 정량화가 가능한

변수를 목록화한 후, 이론적·과학적 적합성, 대표성, 측정 가능성 등을 고려하여 전문가 자문과 현지조사를 통해 확정하였다. 특히 세부항목 간의 독립성은 상관분석을 통하여 검토하고 상관계수가 높은 항목은 모형에서 제외하였다.

서식처제공 지표그룹은 생태계서비스 제공을 위한 기반조건, 즉 지지서비스 측정을 목표로 하며, 대상지조건과 경관요소로 구분하였는데, 대상지조건과 경관요소는 생물종의 서식처 평가에 이용되어왔다(Morrison et al., 2012; Rho, 2009). 대상지조건 세부항목으로는 종조성, 식생계층 구조, 식생보전등급을 포함하였고, 경관요소 세부항목으로는 핵심지역까지의 거리, 협의경관 및 광의경관 측면의 서식처 다양성을 포함하였다(Choung et al., 2006). 핵심지역이라 함은 생물다양성이 양호하고 생태계 건강성이 확보된 지역으로 본 연구에서는 백두대간보호지역, 산림보호구역, 국립공원 등 법정보호지역으로 정의한다. 이에 따

⁶⁾ 관련 사례연구로는 생물다양성편의지수(BBI), 환경편의지수(EBI), 보전가치지수(CVI), 생물다양성은행제도크레딧계산기(BioBanking Credit Calculator), 서식적합성지수(Habitat Suitability Index) 및 서식처평가방법론(Habitat Evaluation Procedures), Chang and Shin(2007), KFS(2010), Park et al. (2010)을 포함한다.

라 핵심지역까지의 거리가 가까울수록 대상지는 양호한 산림생태계로부터 안정적인 종자, 생물종 공급으로 서식처제공 기능이 높아진다. 조절서비스 지표그룹으로는 국립산림과학원의 연구결과를 활용할 수 있는 물조절과 대기조절을 선택하였다. 물조절 세부항목으로 토양침식방지, 지표수와 지하수 함양기능을 선정하였고, 대기조절 세부항목으로 산림의 대기정화 기능과 탄소흡수 기능을 선정하였다(KFRI, 2010).

세부항목별 획득 가능한 최대점수, 내용, 측정단위 및 측정방법, 자료출처를 정리하였다(Table 3). 측정단위 항목은 원자료 측정단위와 가공방법을 순서대로 표시하였다. 예를 들어 종조성의 경우 원자료는 현지조사를 통하여 %로 측정되었고, 그 결과를 바탕으로 대상지의 서식처 등급화에 의해 5등급으로 구분하였으며, 할당된 최대점수는 50점이다. 또한 토양침식방지 기능은 모암 및 임목지 구성비율에 의한 토사유출량을 계산한 후 관련 선행연구에서 제시한 함수식을 이용하여 정규화하였다(KFRI, 2010). 이와 같이 선행연구로부터의 함수식을 이용하여 서비스 공급량을 계산할 수 있는 경우에는 함수식을, 그렇지 못한 경우는 측정 원자료를 등급화하여 점수를 부여하였다. 등급화 시 서비스공급량과 점수간의 선형관계를 가정하였으며, 세부항목 등급 간 차이에 비례하여 동일한 점수 차를 부여하였다.⁷⁾

관리요소 지표그룹은 다양한 관리여건이 생태계서비스 개선에 미치는 잠재적 영향을 평가하고자 하였으며, 세부항목으로 계약기간, 제안서의 우수성, 위협요소, 대상지면적을 선정하였다. 계약기간은 장기계약을 통해 지속적인 산림경영관리를 유도할 수 있다는 측면에서 정(+)의 효과를 가정하고, 계약기간에 따라 3등급으로 구분하였다. 제안서의 우수성 및 위협요소는 토지소유자가 제안서를 제출한 후 사후적으로 이행기관에서 독립적으로 평가하는 항목에 해당하며 [0~20] 범위의 점수를 부여한다. 제안서의 우수성은 친환경적 산림경영을 하고자 하는 토지소유자일수록 실현 가능성과 완성도 높은 제안서를 작성한다는 가정에 근거한다(Eigenraam et al., 2006). 즉, 정성적인 요소라 볼 수 있는 토지소유자의 산림경영에 대한 인식 및 태도를 평가하기 위한 항목이라 볼 수 있다. 위협요소는 인접지역의 시가화 면적, 도로망, 개발계획 등과 같은 생태계 교란인자를 평가하여 상, 중, 하 3등급으로 구분하였다. 위협요소가 클수록 서식처 교란 내지는 파편화로 이어질 확률이 크다는 측면에서 부(-)의 효과를 가정한다. 면적이 넓을수록 종 다양성은 풍부해진다는 도서생물지리설(theory of island biogeography)에 근거하여(Wilson and MacArthur, 1967), 대상지 면적을 세부항목으로 선정

하였다. 대상지 면적은 국내 사유림 소유규모를 고려하여 2 ha 미만, 2~5 ha, 5 ha 초과와 3등급으로 구분하였으며, 대상지 면적이 넓을수록 생태계서비스는 비례하여 증가하는 것으로 가정하였다.

비용은 보상차원에서 실질비용 개념으로 접근하며 지속가능한 산림경영을 위한 숲가꾸기 비용과 정기적인 모니터링비용을 포함하는 것으로 설계하였다. 숲가꾸기비용은 산림청의 「표준숲가꾸기」 사업이 생태계서비스 개선과 정(+)의 상관관계가 있다는 가정 아래 예시적으로 포함한 항목이나 일반적으로는 제안서 상의 특정 산림사업 이행에 수반되는 비용으로 정의할 수 있다. 모니터링비용은 산림생태계서비스라는 공공재를 제공하기 위한 생산비용의 일부로 간주하여 포함하였으며, 산림소유자 또는 전문가 모니터링에 수반되는 비용으로 정의한다. 여기서 숲가꾸기 또는 모니터링에 소요되는 비용은 예시적 차원에서 설계한 비용항목임에 유의하며, 제안서 내용에 따라 실질비용 항목과 범위는 차별화될 수 있다.

최종 종합점수는 세부항목별 가중치를 반영한 가중산술평균을 활용하여 산출하는 것으로 설계하였다. 즉, 비용을 제외한 지표그룹 내 세부항목 점수를 모두 합산한 후 그 결과를 실질비용으로 나눈 값이다. 따라서 최종 종합점수는 단위비용당 점수(점수/원)로 표현되며, 최종점수를 기준으로 제안서의 순위를 결정한다. 일반적으로 높은 순위를 차지한 제안서부터 예산이 허락하는 범위 내에서 수용된다. 최종 종합점수 산출식의 분자에는 생태계서비스 지표그룹과 관리요소 지표그룹이, 분모에는 실질비용이 활용된다. 따라서 추가성(additionality) 측정에 해당하는 관리요소와 실질비용 간의 독립성에 대해 검토하여 중복성을 최소화하는 것이 필요하다.

본 연구의 지표 설계 맥락에서는 관리요소 세부항목과 「표준숲가꾸기」 사업 및 모니터링 내용 간의 중복성 검토가 요구된다. 관리요소 세부항목인 계약기간, 제안서의 우수성, 위협요소, 대상지 면적 중에서 위협요소 평가는 모니터링과 대상지 면적은 숲가꾸기 사업과 관련성이 있다. 그러나 내용적인 측면에서 살펴보면, 위협요소 평가는 외부적인 요소, 예를 들면 인접지역의 시가화 면적, 도로망, 개발계획 등을 점검하는 것이 초점이고, 모니터링은 대상지 산림내의 생태계 교란인자를 점검하는 것에 초점을 두는 것이기 때문에 일부 중첩되는 내용이 있을 수 있더라도 원칙적으로 차별화된다고 볼 수 있다. 반면 대상지 면적은 숲가꾸기 사업비용과는 정(+)의 상관관계를 갖고 있으나, 빈도수로 비용을 산정하는 모니터링 비용과는 관련성이 적다. 따라서 실제로 실질비용과 중복성 문제는 대상지 면적 항목에 한정된다고 볼 수 있다.

⁷⁾ 지면의 제한으로 세부항목의 점수체계는 부록(Appendix)을 참고하기 바란다.

대상지 면적과 실질비용 간의 중복성 문제에도 불구하고 대상지 면적을 관리요소 지표체계에 포함시킨 것은 지표체계의 적용에 있어서 융통성을 부여하고자 했기 때문이다. 서론에 언급한 바와 같이 생태계서비스지불제 이행 평가를 위한 지표체계 개발에 있어서 관리요소와 비용을 포함한 사례는 극히 제한적이다. 또한 생태계서비스지불제의 유형 및 특성에 따라 중요한 지표그룹도 차별화된다. 예를 들어 대상지가 절대적인 보호를 우선으로 하는 생태계라면 실질비용 보다는 생태계서비스와 관리요소 지표그룹이 상대적으로 중요할 것이다. 비용효과성 보다는 생태계서비스 유지 및 개선이 목적이라면 실질비용은 평가체계에서 제외하고 생태계서비스와 관리요소 지표그룹만으로 지표체계를 구성하는 것이 바람직하며, 이러한 경우 대상지 면적은 생물다양성 증진 간의 상관관계를 측정하는 주요 지표가 될 수 있다.

산림생태계서비스지불제 지수체계 적용

서론에서 기술한 바와 같이 지수체계 적용 가능성 검토는 대상지역의 생태계서비스 공급현황뿐만 아니라 관리여건 및 비용효과성 측정을 동시에 반영할 수 있도록 진행하고자 한다. 그러나 관리요소 및 실질비용은 토지소유자가 자율적으로 작성하거나 또는 이행기관에 제안서 제출 이후 사후적으로 평가하는 항목이기 때문에 사전적으로 측정 가능한 지표그룹은 생태계서비스 지표그룹에 한정된다. 따라서 지수체계 적용 가능성 검토는 사례지역을 대상으로 대표 토지소유자(representative landowner)를 가

정하고, 현재 측정 가능한 생태계서비스 지표그룹 점수에 관리요소 및 실질비용 관련 시나리오를 조합하여 그 영향을 분석한다. 본 연구에서는 최대한 독립성이 인정되는 지표를 세부항목으로 도출하였으며, 전문가 자문을 통해 사례대상지 적용의 적정성을 검토하였다.

1. 사례지역 현황

사례지역은 국내 사유림 중 임상(활엽수림, 침엽수림, 혼효림), 위치, 면적 등을 고려하고, 현지조사를 통해 접근성과 자료수집의 적절성을 갖춘 2개 지역을 선정하였다 (Table 4). 충북 괴산군에 소재한 사례지역 1은 18필지 99,807 m²로 활엽수림이고, 사례지역 2는 강원 평창군에 위치하며 침엽수림이 우점하는 2필지 31,210 m² 지역이다.

2. 생태계서비스 측정지표 적용결과

생태계서비스 지표그룹인 서식처제공, 물조절, 대기조절 세부항목별 점수를 사례지역별로 산출하였다(Table 5). 먼저 대상지조건 그룹에서는 사례지역 2(평창군 소재)가 사례지역 1(괴산군 소재) 보다 높은 점수를 받은 반면 경관요소 그룹에서는 사례지역 1이 사례지역 2 보다 높은 점수를 받았다. 대상지조건과 경관요소를 합한 서식처제공 점수에서는 전체 200점 중 사례지역 1이 132점, 사례지역 2는 135점으로 집계되어 두 지역이 생태적으로 유사한 기반을 갖추고 있는 것으로 평가되었다.

물조절 서비스의 경우 사례지역 1과 사례지역 2는 각각 60, 62점을 받아 유사한 것으로 나타났는데, 이는 ha당 토양침식/유출방지량과 유효토심 등의 주요 변수값이 두 지

Table 4. General overview of selected sites of case study.

	Site 1	Site 2
Location	Geosan-gun of Chungbuk province	Pyeongchang-gun of Gangwon province
Forest type (Dominant Plant)	Mixed forest (Japanese larch, Cork oak, Mongolian oak)	Coniferous forest (Pine tree, Mongolian oak)
Cadastral parcels	18	2
Area	99,807 m ²	31,210 m ²

5th Forestry Map (1:5,000)

Coniferous forest: 38,343 m²
 Deciduous forest: 51,235 m²
 Mixed forest: 8,605 m²
 Non-woody area: 683 m²
 Others: 941 m²

Coniferous forest: 29,233 m²
 Deciduous forest: 1,810 m²
 Mixed forest: 47 m²
 Others: 120 m²

Table 5. Scores on ecosystem services for each indicator group on site 1 and site 2.

Indicator group		Sub-indicator	Site 1	Site 2	
Ecosystem Service (400)	Site condition (150)	Species composition (50)	30	40	
		Structure of vegetation (50)	20	50	
		Vegetation Conservation Class(VCC) (25)	50	20	
	Habitat provision (200)	Landscape arrangement (50)	Distance to the core area (10)	4	3
			Habitat patch density within 1 km (10)	7	4
			% cover of natural lands within 1 km (10)	8	7
			Habitat patch density within 5 km (10)	4	3
			% cover of natural lands within 5 km (10)	8	8
	Water regulation (100)	Water quality/ water quantity	Quantity of soil erosion prevention (40)	39	39
			Quantity of surface water (30)	9	9
			Quantity of ground water (30)	12	13
	Air regulation (100)	Air quality/Climate regulation	Purification of air pollutants (SO ₂ , NO ₂) by forest type (50)	33	17
Carbon stored in above ground biomass (50)			38	29	
Total			263	243	

Note: The numbers in parentheses are maximum scores available for each sub-indicator.

역 모두 근사하게 측정되었기 때문이다. 반면 대기조절 서비스는 사례지역 1과 사례지역 2는 각각 71, 46점을 받아 차이를 나타냈는데, 이는 사례지역 1이 졸참나무, 신갈나무 등 활엽수림 면적이 상대적으로 크기 때문이다. KFRI(2010)에 의하면 활엽수림이 침엽수림보다 대기오염물질 정화

나 탄소흡수 기능에서 우수한 것으로 보고되고 있으며, 이는 전환계수를 통해 점수에 반영된다. 사례지역 1과 사례지역 2의 생태계서비스 종합점수는 각각 263, 243점으로 집계되어, 사례지역 1이 생태계서비스 공급측면에서 다소 우수한 것으로 평가되었다.

Table 6. Scores assigned on site 1 and site 2 with the different levels of management factors.

Scoring system for each sub-indicator related to management elements					
Group	Sub-indicator	Class	Score		
Management elements	Duration of contract (10)	11 years above	10		
		6~10 years	5		
		0~5 years	0		
	Completeness of proposal (20)	Superior	15~20		
		Excellent	8~14		
		Moderate	0~7		
	Elements of potential risks/threats (10)	High	0		
		Moderate	5		
		Low	10		
	Area of sites under the contract (10)	5 ha above	10		
		2~5 ha	5		
		2 ha below	0		
Results of scoring system for each sub-indicator related to management elements into site 1 and site 2 by management scenarios					
Group	Sub-indicator	Scenarios of different management level			
		High	Medium	Low	
Management	Duration of contract (10)	10	5	0	
	Completeness of proposal (20)	18	11	4	
	Elements of potential risks/threats (10)	10	5	0	
	Area of sites ¹⁾ (10)	Site 1	10	10	10
		Site 2	5	5	5
	Total	Site 1	48	31	14
		Site 2	43	26	9

¹⁾Scores on the area of sites under the contract will be assigned by actual data.

3. 관리요소 및 실질비용 시나리오 구성과 지표 적용결과

관리요소 세부항목의 내용은 토지소유자가 본인의 관리의지를 반영하여 자율적으로 구성하거나 이행기관에 의해 사후적으로 평가하는 지표로 구성되어 있다. 본 연구에서는 계약기간, 제안서 완성도, 위협요소, 대상지 면적을 대상으로 항목별로 등급에 따라 시나리오를 상, 중, 하로 구분하고 그 영향을 분석하고자 한다. 시나리오 ‘상’은 각 세부항목의 최상급 점수를, ‘중’은 중간등급 점수를, ‘하’는 최하위 등급점수를 가정한다. 따라서 사례지역별로 관리요소 점수가 달라지고, 이는 종합점수에 반영된다. 관리요소 세부항목의 등급 및 점수체계는 Table 6의 상단부와 같고, 사례지역의 관리요소 시나리오별 점수 산출결과는 Table 6의 하단부와 같다.

관리요소 지표그룹은 다양한 관리여건이 생태계에 미치는 잠재적 영향을 평가하여 생물다양성/생태계서비스 개선정도(추가성)를 간접적으로 측정하고자 하는 대체지표(proxy)에 해당한다. 관리요소 세부항목인 계약기간, 제안서의 우수성, 위협요소, 대상지 면적 중 대상지 면적을 제외하고는 모두 제안서 제출 이후 이행기관이 독립적으로 평가하는 항목이다. 환경친화적 관리의지가 높은 토지소유자일수록 계약기간은 10년 이상의 장기로 설정할 것이며, 제안서의 우수성도 높을 것이라는 가설에 근거한다 (Eigenraam et al., 2006). 본 연구는 관리요소가 종합점수에 미치는 영향을 예시하기 위한 시나리오 구성을 고려하고자 하였다. 실제로 관리요소 세부항목은 대상지 여건 및 토지소유자의 인식에 따라 다양한 조합이 가능하고 이는 지표체계에 반영가능하다.

이론적으로 추가성은 제안서 상의 이행조건 수행으로

예상되는 생태계서비스 공급량 증가분을 동일한 생태계서비스 지표그룹을 활용하여 예측하는 것이 이상적이다. 이를 위해서는 현재 서비스 공급량 수준(기준선)에 대한 정보가 구축되어 있어야 하고, 제안서 상의 이행조건 예를 들면 숲가꾸기사업과 생태계서비스 공급량 간의 과학적 상관관계 규명이 전제되어야 한다. 그러나 현재로서는 기준선에 대한 정보가 체계화 되어 있지 않고, 자원관리 계획과 생태계서비스 공급량 간의 과학적 상관관계에 대한 연구도 미흡한 상황이어서, 추가성의 직접적인 측정은 제한적이라 할 수 있다. 생태계서비스지불제는 공급자와 구매자 간의 계약에 근거한 상호준수 프로그램이며, 따라서 추가성의 측정은 이행조건을 충실히 수행하였는지를 평가할 수 있는 근간이다. 향후 추가성의 직접적인 측정을 위한 체계적인 자료구축 및 관련연구 수행이 요구된다.

실질비용 역시 토지소유자의 사업계획에 의존하므로 시나리오 접근법을 활용하여 산출한다. 실질비용은 숲가꾸기비용과 정기적인 모니터링비용을 포함하는 것으로 설계하였다. 산림청은 건강한 산림관리를 위하여 「표준숲가꾸기사업」을 5년에 1회 실시하는 것을 권고하고 있는데(KFS, 2013), 본 연구는 「표준숲가꾸기사업」을 시나리오 구분 없이 동일하게 포함하였다(Table 7). 이는 산림청의 「표준숲가꾸기사업」이 지속가능한 산림경영의 최소 필요조건이라는 가정에 근거하며, 또한 종합점수 산출식의 분자에 포함되는 대상지 면적과 정(+)의 관계를 갖는 숲가꾸기비용을 분모에 포함함으로 인해 종합점수에 미치는 영향을 최소화하기 위한 조치이기도 하다.

반면 모니터링은 토지소유자의 관리의지에 따라 상, 중, 하로 차별화하여 적용하며, 대상지의 생태적 건강성을 주

Table 7. Cost based on the different levels of management factors and monitoring schemes.

Group	Sub-indicator	Contents		
Cost	Forest management cost	- Standard forest management cost: 340,706 won/ha/yr - Source: 「Manual of forest management, design and implementation processes」 (KFS, 2013) pp.27~28		
	Monitoring cost	- monitoring by landowner: 70,000 won/day - monitoring by experts: 150,000 won/day - source: 「Ordinance of natural environmental census methodology and evaluation criteria on conservation priority」 (ME, 2009)		
Cost calculation based on the level of monitoring scenario				
		Intensively managed	moderately managed	poorly managed
Group	Sub-indicator	- Standard forest management plan - monitoring planned · by landowners: 4times/1yr · by experts 2person/1time/1yr	- Standard forest management plan - monitoring planned · by landowners: 4times/1yr · by experts 2person/1time/3yr	- Standard forest management plan - monitoring planned · by landowners: 4times/1yr
Cost (won/yr)	Forest management cost	340,706	340,706	340,706
	Monitoring cost	580,000	380,000	280,000
	Total	920,706	720,706	620,706

기적으로 점검하는 행위로 정의한다. 먼저 가장 높은 단계의 모니터링은 산주가 분기에 한 번, 전문가가 매년 한번(전문가 2명 참여) 실시하는 것으로 가정하였다. 중간단계의 모니터링은 산주가 분기에 한 번, 전문가가 3년에 한번 실시하는 것으로, 가장 낮은 단계는 전문가 모니터링은 실시하지 않고 산주 모니터링만 분기에 한 번 포함하는 것으로 설정하였다. 실질비용 산출과정의 세부내용 및 시나리오별 모니터링 비용 산출내역은 Table 7과 같다.

한편 본 연구는 실질비용의 범위를 보상(compensation) 개념에 근거하여 숲가꾸기사업과 모니터링에 소요되는 직접비용으로 한정하고 있으나, 지불제 대상 및 맥락에 따라 실질비용의 범위를 조정하는 것이 필요하다. 예를 들어 지불제의 대상이 사유림인 동시에 보호지역으로 지정되어 있다면 각종 행위제한으로 인한 기회비용을 비용에 포함하는 것이 바람직하다. 또한 서비스 사용에 대한 지불형태가 보상을 넘어 사례(rewards) 또는 시장가격이라면 그에 따른 적절한 지불액 산정방법이 적용되어야 한다.

4. 종합점수 산출결과 및 비용효과성 평가

사례지역을 대상으로 생태계서비스 측정지표 적용결과, 관리요소 시나리오별 점수, 실질비용 시나리오별 점수 산출결과를 종합하였다(Table 8). 먼저 생태계서비스 공급량 측정결과는 동일하다 할지라도 관리요소 및 실질비용 수준에 따라 사례지역별로 9개의 시나리오가 가능한 것을 볼 수 있다. 즉, 사례지역 1의 경우 관리여건에 따라 토지

소유자가 어느 수준의 모니터링을 제안서에 포함하는지에 따라 종합점수가 최저 301점에서 최고 501점까지 차별화될 수 있으며, 이는 단위비용당 점수로 표현되는 비용효과성의 차별화로 이어진다. 같은 맥락으로 사례지역 2는 종합점수 최저 273점에서 최고 460점까지 차별화 된다.

요약하면 상대적으로 건강한 생태계, 따라서 생태계서비스 점수가 상대적으로 높다 할지라도 비용효과성을 담보하지 않는다는 것을 관찰할 수 있다. 실질비용은 종합점수, 즉 비용효과성 산출식의 분모에 해당하기 때문에 최종결과에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 사례지역 1은 사례지역 2에 비해 생태계서비스 점수는 높지만 관리여건과 모니터링 수준에 따라 종합점수는 사례지역 2 보다 낮을 수 있으며, 이는 제안서 순위 결정에 직접적인 영향을 미치게 된다. 즉, 이행기관에서 주어진 예산 아래 수용 가능한 제안서의 범위를 결정할 때 생태계서비스 점수만을 고려할 경우와 관리여건과 비용효과성 측면을 동시에 고려할 경우 선택된 제안서의 집합은 상이할 수 있다는 것을 예시하고 있다.

본 연구는 자원관리계획 이행에 소요되는 실질비용을 지표그룹에 포함함으로써 프로그램의 단위비용 당 생태계서비스 공급량을 측정할 수 있는 지표체계를 제시하였으며 이는 합리적 의사결정, 특히 비용효과성에 근거한 의사결정에 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 물론 비용효과성이 정책평가의 유일한 잣대는 아니다. 예를 들어 생태적으로 중요한 지역이 지불제의 대상이라면 생태계서

Table 8. Final results of the proposed PES index frameworks with different management factors and monitoring schemes to site 1 and site 2.

Site	Score on ecosystem service(A)	Management factors(B)		Estimated cost(C)		Final score (A+B)/C (score/million won)
		Scenario	Score	Scenario	Cost (unit: won)	
Site 1	263	High (intensively managed)	48	High	920,706	338
				Medium	720,706	432
				Low	620,706	501
		Medium (moderately managed)	31	High	920,706	320
				Medium	720,706	408
				Low	620,706	474
		Low (poorly managed)	14	High	920,706	301
				Medium	720,706	385
				Low	620,706	447
Site 2	243	High (intensively managed)	43	High	920,706	310
				Medium	720,706	397
				Low	620,706	460
		Medium (moderately managed)	26	High	920,706	292
				Medium	720,706	373
				Low	620,706	433
		Low (poorly managed)	9	High	920,706	273
				Medium	720,706	349
				Low	620,706	406

비스 유지 및 개선을 우선 기준으로 적용하는 것이 바람직하다. 이러한 경우에는 생태계서비스 지표그룹만으로 평가하거나 또는 생태계서비스 지표그룹의 가중치를 조정하여 제시한 지표체계를 탄력적으로 활용하는 것이 가능하다. 결국 지표체계의 적용은 정책평가의 목적 및 그에 따른 측정목표로 다시 귀결된다.

결론

향후 생태계서비스지불제를 포함, 생물다양성/생태계 부문의 정책평가를 위한 정량적 도구 개발에 대한 수요는 지속적으로 높아질 것으로 전망된다. 본 연구는 생태계서비스지불제 이행평가를 위한 지수체계를 제시하고 사례 연구를 통해 적용 가능성을 예시하였다. 관련 국내연구가 제한적임을 감안하면 기반구축 연구로서의 의의를 찾을 수 있겠으나 향후 해결해야 할 이슈도 적지 않다.

먼저 지수체계 개발에 전제가 되는 지불제 유형 및 구성요소가 차별화되어야 한다. 즉, 생태계서비스지불제 이행을 위한 지수체계는 지불제의 목적, 유형, 이행절차, 대상 서비스의 성격 및 특성에 따라 구체화되어야 한다. 특히 1)구매자와 공급자가 누구인지, 2)민간 주도인지 공공 부문 주도인지, 3)지불형태가 보상, 사례, 또는 가격인지, 4)면적 기반인지 최종생산물(상품) 기반인지, 5)대상 서비스의 공공재적 특성인 경합성과 배제성은 어떻게 특징지어지는지에 따라 지불제의 스펙트럼은 다양하게 정의될 수 있다. 따라서 지수체계 개발을 위해서는 지불제 유형 및 구성요소 설계가 전제되어야 한다(Table 1). 본 연구에서 제시한 지수체계는 공공부문 주도의 경매방식의 지불제에 적용 가능한, 특히 관련 예산집행 차원의 비용효과성 측정에 초점을 둔 지수체계라 할 수 있다.

다음으로 지수체계 개발단계 즉, 프로그램 목적-측정목표-지표그룹-세부지표-가중치-지수별 함수식의 연결고리와 관련된 이슈를 들 수 있는데, 이는 과학적 사실에 근거한 단계별 의사결정문제와 관련 자료의 체계적 구축문제로 요약된다. 먼저 지표그룹 선정은 프로그램 목적과 그에 따른 측정목표에 기반 하여야 하며 이는 지불제 유형과 대상 생태계서비스 간의 상관관계에 대한 명확한 이해를 전제로 한다. 지표그룹 내 세부항목은 측정가능성, 대표성, 이론적·과학적 근거에 의해 적합한 지표의 선택이 가능하도록 준비하는 것이 중요하다. 실제로 본 연구의 지수체계 설계과정에서 각 지표그룹별로 다양한 세부항목

이 고려되었으나, 최종적으로 선택된 항목은 각 지표그룹별로 3~5개에 불과하다. 따라서 최종적으로 선택된 항목뿐만 아니라, 향후 활용 가능한 후보군을 목록화하여 관련자료를 체계적으로 관리하는 작업이 요구된다.

세부항목의 점수체계, 즉 지표와 점수 간의 상관관계에 대한 연구 및 관련정보의 체계화도 시급하다. 이는 구체적으로 생태계 특성/구조와 생태계서비스 공급량간의 상관관계 또는 함수관계의 규명을 의미한다. 본 연구에서는 물조절, 대기조절 세부항목의 경우 KFRI(2010, 2011) 연구결과를 활용하여 생태계 특성과 해당 서비스 공급량간의 함수식을 활용하였으나, 서식처제공 지표그룹 세부지표의 경우 관련정보의 부족으로 서비스의 특성과 점수간의 선형관계를 가정하였다. 특히 지지서비스에 해당하는 서식처제공의 경우 상관관계 규명이 쉽지 않아 이에 대한 기초연구가 필요한 시점이다. 또한 가중치 설정도 다변화할 필요가 있다. 세부항목별 평가점수의 합산(agggregation)은 세부항목의 상호 독립성을 전제로 한다. 그러나 생태계의 유기적 복잡성은 생태계서비스 간의 온전한 독립성을 담보하기 어렵고, 따라서 일정부분의 중복성은 한계로 안고 갈 수 밖에 없다. 세부 지표항목간의 중복성으로 인한 과다추정 이슈는 단기간에 해결하기 어려운 문제이기도 하나 지속적인 연구를 통해 궁극적으로 해결해야 할 숙제이기도 하다. 가중치 또한 전문가 의견뿐만 아니라 국가 생물다양성 정책 우선순위 또는 국민여론조사결과 등을 활용할 수 있도록 선택의 폭을 확대함으로써 지수체계 개발목적에 부합하도록 설정하는 것이 필요하다.

종합하면, 생물다양성/생태계 부문의 경제적 정책도구에 대한 연구와 해당 정책평가를 위한 측정체계 개발이 맞물려서 지속적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다. 생태계서비스지불제는 보호지역 지정으로 대표되는 기존의 생물다양성 보전 메커니즘에 비해 보다 능동적이고 직접적인 정책으로 새로이 부상하고 있고, 전 세계적으로 확대·적용되고 있는 추세이다. 향후 국내에서도 생태계서비스의 공공재적 특성에 따라 차별화된 다양한 유형의 지불제 도입 시도가 예상된다.⁸⁾ 따라서 제도연구와 더불어 해당 프로그램의 정량적 평가수단 개발을 병행하는 것이 효율적 정책이행을 위해 바람직할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 연구사업 “생태계

⁸⁾ 생태계서비스지불제가 새로운 환경보전 수단으로 부각되고 있고 적용사례도 확대되고 있는 것이 사실이나, 모든 자연환경 관리문제를 단번에 해결해 줄 수 있는 만능 치료제로 여겨지는 것은 위험한 일이다. 특히 토지소유자의 자발적인 환경친화적 자원관리 참여라는 본질적인 목적에서 벗어나 토지소유자에 대한 단순한 보상체계, 따라서 또 다른 형태의 보조금으로 해석되는 것은 피해야 할 것이다. 이를 위해서는 지불제 도입에 앞서 지역의 경제적, 사회문화적, 제도적, 정보·과학기술 차원의 현황을 면밀히 분석하고 필요한 부분에 대한 능력배양(capacity building)이 선행되어야 한다.

서비스지불제 이행 및 평가를 위한 지수체계 개발”의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Ahn, S., Lee, C., and Ryu, G. 2008. Designing payments for environmental services on genetic reserve forests in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 97(3): 305-315.
- Ahn, S. 2010. Designing payments for forest environmental services in Korea. *Korean Journal of Forest Economics* 17(1): 25-37.
- Ahn, S., Rho, P., Koh, S.I., Chun, D.J., and Kwan, Y.H. 2013. Developing index for implementation of payments for ecosystem services in Korea. Research Report 2013-07 of Korea Environment Institute, Seoul, Korea. pp. 128.
- Chang, C.S. and Shin, Y.K. 2007. The public opinions on the compensation with the non-timber value of forest. *Korean Journal of Forest Economics* 15(1): 9-21.
- Choung, H.L., Song, J.S., Lee, K.S., Kim, I.T., Kim, J.H., Yang, K.C., and Chun, Y.M. 2006. Review on the conservation value and assessment criteria of vegetation. *Journal of Environmental Impact Assessment* 15(5): 339-355.
- DSE (Department of Sustainability and Environment). 2008. *Bush Tender: Rethinking investment for native vegetation outcomes, the application of auctions for securing private land management agreements*, State of Victoria, Department of Sustainability and Environment, Melbourne. pp. 47.
- Eigenraam, M., Barker, P., Brown, M., Knight, R., and Whitten, S. 2006. Conservation value index technical report. Forest Conservation Fund, Assessment Methodology Advisory Panel, Department of Environment and Water Resources, Canberra. pp. 52.
- Famiglietti, J.S., Rudnicki, J.W., and Rodell, M. 1998. Variability in surface moisture content along a hill slope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 210(1-4): 259-281.
- Forman, R.T.T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10(3): 133-142.
- Karousakis, K. 2012. Enhancing the effectiveness of payments for ecosystem services (PES). Science for Environment Policy. Thematic issue 30, European Commission. pp. 12.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2007. Preliminary study on the payments for forest ecosystem services. Research Report 07-27 of KFRI, Seoul, Korea. pp. 147.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2010. Quantitative study for estimating the function of public benefits derived from forest resources. Research Report 10-26 of KFRI, Seoul, Korea. pp. 205.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2011. Mapping the classification type of forest functions for private forests. Research Report 11-02 of KFRI, Seoul, Korea. pp. 164.
- KFS (Korea Forest Service). 2007a. A study on introducing payments for environmental services on genetic reserve forests in Korea. Daejeon, Korea. pp. 244.
- KFS (Korea Forest Service). 2007b. A study on payment for environmental services on water reserve forests in Korea. Daejeon, Korea. pp. 144.
- KFS (Korea Forest Service). 2008. A study on payment for environmental services on scenic view protected areas in Korea. Daejeon, Korea. pp. 207.
- KFS (Korea Forest Service). 2009. A study on the legislative proposal on payment of forest environmental services. Daejeon, Korea. pp. 228.
- KFS (Korea Forest Service). 2010. Report on public attitude towards forest systems. Daejeon, Korea. pp. 139.
- KFS (Korea Forest Service). 2013. Manual of standard forest management plans. Ordinance 1150 of the Korea Forest Services. Daejeon, Korea. pp. 115.
- MA (Millenium Assessment). 2005. *Millenium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- ME (Ministry of Environment). 2009. Ordinances of natural environmental census methodology and evaluation criteria on conservation priority. Ordinance 822 of the Ministry of Environment. Ministry of Environment, Kwachon, Korea. pp. 9.
- ME (Ministry of Environment). 2014. Management status on Biodiversity Reserve and Management Program. Ministry of Environment, Sejong, Korea. pp. 32.
- Morrison, M.L., Marcot, B., and Mannan, W. 2012. *Wildlife-habitat relationships: concepts and applications*. Island Press, Washington, D.C. pp. 493.
- OECD. 2010. *Paying for Biodiversity: Enhancing the Cost-Effectiveness of Payments for Ecosystem Services*, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) Publishing, Paris. pp. 194.
- Park, Y.K., Roh, H.J., Jeon, J.H., and Kim, H.H. 2010. Analyzing and type and priority order of forest functions for private forests. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(6): 51-59.
- Rho, P. 2009. Use of GIS to develop a multi-variate habitat model for the Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) in mountainous region of Korea. *Journal of Ecology and Environment* 32(4): 229-236.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. edited by Kumar, P., Earthscan, London. pp. 456.
- Wilson, E.O. and MacArthur, R.H. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. pp. 224.

Appendix: Scoring system of sub-indicators for each indicator group on forest ecosystem service

Appendix Table 1. Scoring system of sub-indicators on site condition.

Indicator	Score	Category	Comments
Species composition (50)	50	No exotic species present	Exotic species is not native species of study site, including a species introduced from other countries and regions
	40	Exotic species composition 5% below	
	30	Exotic species composition 5~10%	
	20	Exotic species composition 10~20%	
	10	Exotic species composition 20% above	
Structure of vegetation (50)	50	Condition of stable vegetation equilibrium with tree, sub-tree, shrub, and herbaceous layers, and also densely vegetated coverages with sub-tree and shrub layers	T1(tree layer) T2(sub-tree layer) S(shrub layer) H(herbaceous layer) 4 layers (T1, T2, S, H) % cover of T2 and S: >50%
	40	Condition of stable vegetation equilibrium and percent cover of sub-tree and shrub layers is 30-50%	4 layers (T1, T2, S, H) % cover of T2 and S: 30 ~ 50%
	30	Even though vegetation structure is not stable, stands at sub-tree and shrub layers are well developed	2 or 3 layers present % cover of T2 and S: >30%
	20	Sub-tree and shrub stands are rarely developed	% cover of T2 and S: 5~30%
	10	No canopy cover of sub-tree and shrub layers	% cover of T2 and S: 0~5%
Vegetation Conservation Class (VCC) (50)	50	Percent of VCC 1-3 levels 80% above	
	40	Percent of VCC 1-3 levels 60~80%	
	30	Percent of VCC 1-3 levels 40~60%	
	20	Percent of VCC 1-3 levels 20~40%	
	10	Percent of VCC 1-3 levels 20% below	

Source: Modified from Choung et al.(2006) and ME(2009)

Appendix Table 2. Scoring system of sub-indicators on landscape arrangement

Distance to the core area		Number of patch per 10 ha		% cover of natural lands	
Score	Category	Score	Category	Score	Category
10	0~500 m	10	5.0 above	10	90~100%
9	500 m~1 km	9	3.0~5.0	9	80~90%
8	1~2 km	8	2.0~3.0	8	70~80%
7	2~3 km	7	1.5~2.0	7	60~70%
6	3~5 km	6	1.0~1.5	6	50~60%
5	5~7 km	5	0.7~1.0	5	40~50%
4	7~10 km	4	0.5~0.7	4	30~40%
3	10~15 km	3	0.3~0.5	3	20~30%
2	15~20 km	2	0.2~0.3	2	10~20%
1	20~30 km	1	0.1~0.2	1	5~10%
0	30 km above	0	0.1 below	0	5% below

1) Distance to the core area is calculated the Euclidean distance between study site and core areas such as Baekdudaegan mountainous region and other legally protected areas.

2) Landscape diversity both small-level and large-level is quantified into two parts. First is the number of habitat patch at 1-km or 5-km buffered regions. Second is the percent coverages of natural lands within 1-km or 5-km buffered region. Natural lands represents stream, wetland, herbaceous, and forest ecosystem.

Source: Modified from Forman (1995)

Appendix Table 3. Scoring system of sub-indicators on water regulation

Soil erosion prevention ability			
Data required for soil erosion prevention	Score calculation procedures		
Parent rock	Soil erosion by ha (m ³ /ha/year)		
	woody	non-woody	
Granite	0.80	356.94	<ul style="list-style-type: none"> · Quantification of soil erosion by percent coverage of woody and parent rock in study sites · Estimation of soil erosion prevention by each parent rock · Calculation of soil erosion prevention by unit area (m³/ha/year) · Maximum value of soil erosion prevention: 356.14 (granite) · $Y = [40/357] \times X$ where Y is score, and X is soil erosion prevention
Other igneous rock	2.32	346.20	
Gneiss	1.14	263.86	
Other metamorphic rock	0.61	353.90	
Sedimentary rock	1.27	232.30	

Source: Modified from KFRI(2010)

Surface water yield capability		
Score	Wetness index	Score calculation procedures
0	5 below	<ul style="list-style-type: none"> · Estimation of wetness index of each study site – wetness index = $LN(a/\tan B)$ where a is upstream watershed, B is slope of study site · Increase of water yields positively related to wetness index – mean value of wetness index is 3-30 · Score on surface water yield capability calculated by average of wetness index value for each study site
3	5~7	
6	7~9	
9	9~11	
12	11~13	
15	13~15	
18	15~17	
21	17~19	
24	19~21	
27	21~23	
30	23 above	

Source: Modified from Famiglietti et al.(1998)

Ground water recharge			
Score	Soil depth	Median value of soil depth	Score calculation procedures
1	0~10 cm	5.0 cm	<ul style="list-style-type: none"> · Data acquisition of soil depth (unit: cm) from forest map · Calculate the soil depth and median value of study site · $Y = 0.5 \times X$ where Y is score, X is median value of soil depth(cm)
2	11~20 cm	15.5 cm	
3	21~30 cm	25.5 cm	
4	31~40 cm	35.5 cm	
5	41~50 cm	45.5 cm	
6	51~60 cm	55.5 cm	

Source: Modified from KFRI(2011)

Appendix Table 4. Scoring system of sub-indicators on air regulation.

Purification ability of air pollutants				
Data required for air pollutant purification				Score calculation procedures
Classification	Forest type	Potential purification amount of air pollutants	Air pollutant purification ratio	
SO ₂	Coniferous forest	5.79 kg SO ₂ /ha/yr	0.2178	<ul style="list-style-type: none"> · Calculation air pollutants purification rate of each forest type unit area – SO₂ and NO₂ uptake of unit area · Contribution rate of purification of air pollutants by each forest type – SO₂ and NO₂ uptake contribution of each forest type · Minimum and maximum data of potential contribution of air purification by forest type combination – Assignment of score with linear relationship between air purification rate and forest type combination
	Deciduous forest	11.48 kg SO ₂ /ha/yr	0.4317	
	Mixed forest	9.32 kg SO ₂ /ha/yr	0.3505	
	Non-woody area	0.00 kg NO ₂ /ha/yr	0.0000	
NO ₂	Coniferous forest	10.72 kg NO ₂ /ha/yr	0.2178	
	Deciduous forest	21.24 kg NO ₂ /ha/yr	0.4316	
	Mixed forest	17.25 kg NO ₂ /ha/yr	0.3505	
	Non-woody area	0.00 kg NO ₂ /ha/yr	0.0000	

Source: Modified from KFRI(2010)

Forest Aboveground Carbon Stock				
Data required for carbon uptake				Score calculation procedures
Classification	Forest type	Carbon uptake stock	Carbon uptake ratio	
Biomass (2011)	Coniferous forest	6,725 CO ₂ ton/ha/year	0.2750	<ul style="list-style-type: none"> · Calculation carbon uptake of case sites – area of each forest type*carbon uptake ratio by each forest type · Identification of maximum and minimum value of carbon uptake stock · Linear relationship between score assigned and carbon uptake stock – minimum value of non-woody area – maximum value of all deciduous forest
	Deciduous forest	9,575 CO ₂ ton/ha/year	0.3916	
	Mixed forest	8,150 CO ₂ ton/ha/year	0.3333	
	Non-woody area	0 CO ₂ ton/ha/year	0.0000	

Source: KFRI(2010); Private communication by email – Korea Forest Research Institute (May 16. 2013)