

연구논문

국가산림정보를 활용한 생물다양성 및 생태서비스 가치평가 연구

정다정* · 강경호* · 허 준* · 손민수** · 김홍석**

연세대학교 사회환경시스템공학부*, 서울대학교 농경제사회학부 지역정보전공**

(2010년 7월 19일 접수, 2011년 8월 14일 승인)

Valuation of Biodiversity and Ecosystem Services Using National Forest Inventory Data

Jung, Da Jung* · Kang, Kyung Ho* · Heo, Joon* · Sohn, Min Soo** · Kim, Hong Suk**

School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University*

Department of Agriculture Economics and Rural Development, Seoul National University**

(Manuscript received 19 July 2010; accepted 14 August 2011)

Abstract

As United Nation (UN) declared 2010 to be the International Year of Biodiversity, the biodiversity issue has gained much attention since the issue of climate changes. Also, related researches for protecting and conserving the biodiversity are accompanied in the world. In this study, National Ecology Information is obtained from Ministry of Environment and Korea Forest Service and is utilized to value biodiversity and ecosystem services in Pyeongchang, Kangwon-do in Korea. For this, they are categorized into direct- or indirect- use value and non-use value. Research results show that the biodiversity and ecosystem services in Pyeongchang are assessed as 2 trillion and 460 billion won. From this research, we evaluate the economic value of biodiversity and ecosystem services, and also suggest the possibility to utilize them as basic information for a decision making to establish the biodiversity protection plan.

Keywords : Biodiversity and Ecosystem Services, National Ecology Information, Valuation, Use Values, Nonuse Values

I. 서론

생물다양성(Biodiversity)이란 지구상에 있는 모든 생물의 총체적 다양성을 말하며 육상생태계, 해양과 기타 수생생태계와 이들의 복합생태계를 포함하는 모든 원천에서 발생한 생물체의 다양성을 말하며, 종내·종간 그리고 생태계의 다양성을 포함하고 있다(환경부 2010). 생물다양성은 생태계의 기능과 안전성을 유지하는 중요한 필수요소이며, 식품, 의약품, 산업생산품, 유전자원, 목재 등의 물질 가치 외에도 관광, 휴양자원과 같은 지식, 심미적 가치와 이산화탄소의 흡수원, 오염정화 기능 등 인간의 복지와 생존에 매우 중요한 요소이다.

지금 지구상에 존재할 것으로 추정되는 생물종수는 약 1,250만 종이며 이 중에서 인류가 분류한 생물종의 수는 약 170만종으로 추정된다(윤성탁, 2004). 국내 생물 종수는 약 10만종이 존재하는 것으로 추정하고 있으며, 조사된 생물종은 약 36,000종으로 기록되어 있다(통계청, 2010). 하지만 이러한 생물들이 연간 작게는 27,000종에서 많게는 100,000 종이 사라진다고 한다(Raven P. H. 등 1992). 생물다양성의 보존과 보호를 위해 2007년 3월 독일의 포츠담에서 G8+5(캐나다, 독일, 이탈리아, 일본, 러시아, 영국, 미국, 프랑스의 G8국과 브라질, 중국, 인도, 멕시코, 남아프리카의 5개국)의 환경부 장관이 모인 회의에서 생물 다양성으로부터 얻을 수 있는 경제적 이익과 손실에 관한 비교연구가 본격적으로 시작되었다.

국내에서도 자연 생태계 서비스에 초점을 맞춘 경제가치평가가 다양하게 연구되어 왔다. 조건부가치평가법(CVM: Contingent Valuation Method)을 이용하여 여의도 공원의 경제적 가치와 입장료를 추정한 연구(홍성권, 1998)와 수도권 그린벨트의 경제적 가치를 측정한 연구(이준구 등, 2000), 시장가격법을 이용하여 우리나라 연안습지의 경제성 평가를 한 연구(이동근 등, 1997), 대체비용법을 이용하여 갯벌과 간척농지의 수질정화가치 및 대기조절 가치 평가연구(표희동, 2001) 등이 있다. 또한, 산림청에서는 국내 산림생태계 서비스를 경제적 가치

로 평가했을 때, 산림 생태계서비스가 약 73조 2천 억원에 해당하는 가치를 가지는 것으로 추정하였다(산림청, 2010).

하지만 선행된 연구의 범위는 생물다양성이 아닌 일부 생태계의 보전가치를 측정하기 위한 연구에 국한되어 있으며, 활용 목적 또한 지속가능한 생물 자원 보전을 위한 전략적 의사결정에 활용되는 수준에 미치지 못하고, 규제적 환경관리의 합리화나 검증 수단으로 사용되는 수준에 그쳤다. 따라서 본 연구에서는 전 세계적으로 이슈화 되고 있는 생물 다양성과 생태서비스의 경제적인 가치평가를 수행하기 위해 현재 구축되어 있는 국가산림정보인 수치임상도, 수치지질도 등의 자료를 활용하고 설문지 조사를 통해 생물다양성 중 식생에 대한 가치평가를 수행하였다.

II. 분석범위 및 자료

1. 생물다양성 가치의 구분

환경의 사회경제적 가치는 형태별로 다양하게 나눌 수 있는데, 크게 사용가치와 비사용가치로 구분할 수 있다. 사용가치는 자원과 인간 사이의 '상호작용'에 대한 개념이나, 비사용가치는 환경이 지속적으로 존재하느냐와 관련 있으며, 인간이 사용하는지의 여부와는 관련이 없는 현재 또는 미래의 잠재적 가치를 의미한다(Pearce D. W. 등, 1993).

사용가치는 직접사용가치와 간접사용가치로 구분할 수 있으며, 직접사용가치는 자원의 직접적인 소비로부터 유래하는 것으로 생물자원이나 생태계의 직접사용으로부터 나타나는 가치를 의미한다. 간접사용가치는 자원들이 직접이용행위가 없으나 장래 이용되는 유기체의 생산에 필요할 수도 있다는 개념을 함축하고 있다. 생물자원과 생태계로부터 간접 또는 파생되는 환경보전기능, 경관가치, 농촌의 보건·휴양기능, 교육기능, 여유로운 공간, 생활공간제공기능 등의 가치를 포함한다(환경부, 2007). 이와 달리 비사용가치는 '문화적' 또는 '유산가치' 같은 것으로 직접 보거나 만지거나 소비하는 등의

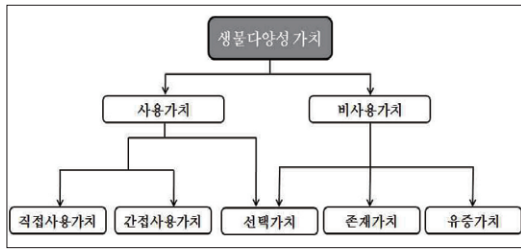


그림 1. 생물다양성의 가치구분

구체적 사용행위 없이 그냥 특정 자원이 존재하는 것만으로도 얻는 가치를 의미한다(신영철, 2010).

비사용가치는 선택가치, 존재가치, 유증가치로 구분되며, 선택가치는 현재 사용하지 않으나 미래에 사용할 가능성이 있기 때문에 미래의 '선택'이 가능하도록 하는 자원의 보존가치이다. 존재가치는 특정자원을 현재 이용하지 않고 있으며 미래에도 이용할 가능성이 없지만 존재한다는 사실만으로도 얻는 효용이며, 유증가치는 현재 이용하지 않고 있으며 가까운 미래에도 이용할 가능성은 없으나 후손들이 즐길 수 있도록 자연환경의 보존을 위해 지불할 용의가 있는 가치를 말한다(신영철, 2010).

본 연구에서는 생물다양성 및 생태서비스의 가치를 구분함에 있어 사용가치, 비사용가치로 구분하여 가치를 평가하였다(그림 1). 사용가치 중 직접사용가치는 임목재적의 가치, 간접사용가치는 탄소저장기능, 수원함양기능, 토사유출방지기능의 가치를 포함하여 산출하였다. 비사용가치는 결합분석방법(CA: Conjoint Analysis)을 활용하여 생물다양성 및 생태서비스의 속성을 구분하여 속성별 존재 및 유증가치를 추정하여 생물다양성의 경제적 가치를 산출하였다.

2. 대상지역

연구 대상지역은 전국산림 면적의 21%를 차지하고 있는 강원도 평창군일대 지역으로 선정하였다. 평창군의 총면적은 1,464km²로 강원도 총면적 16,874km²의 8.7%에 해당하며, 평창군 임야 면적은 전체 평창군 면적의 84%를 차지하는 1,227km²이다. 평창군은 1개의 읍과 7개의 면으로 구성되어



그림 2. 연구 대상지역

있으나 본 연구에서는 봉평면, 용평면, 방림면, 대화면에 해당하는 4개의 면에 대해서 생물다양성 및 생태서비스의 사용가치 중심으로 연구를 수행하였다(그림 2).

3. 국가생태지리정보 자료

1) 수치임상도

산림이 어떻게 분포하고 있는가를 보여주는 대표적인 산림지도로 지형도, 토양도, 지질도 등과 더불어 국가기관에서 전국적 규모로 제작하는 주요 주제도 중의 하나이다. 항공사진을 판독하여 임상·주요수종·경급·영급·소밀도 등 임상자료를 지형도(1:5,000)에 도화해서 작성한 도면으로 기존의 종이임상도에 비해 수치임상도는 빠르고 정확한 도면 검색을 가능하다. 임상도에는 임상의 정보와 경급(나무의 둘레), 영급(나무의 나이), 밀도(수관밀도)의 4가지 정보를 제공한다.

2) 수치지질도

지질도는 일정한 축척이 명시된 지형도상에 지각 최상위의 암석과 지층의 배열상태와 분포 및 지질 구조를 일정한 규칙에 따라 표기한 지도로 최근에는 수치지질도라 하여 지질도의 모든 정보를 전산 파일로 입력한 수치지도를 말한다. 수치지질도를 통해 기초지질정보인 암군명, 지질시대명, 암석명 등의 정보를 확인할 수 있으며, 지질특성이 상이한 각종 지층군 및 암군의 분포지를 구분할 수 있는 지

표 1. 대상지역 국가생태정보

제공 목록	제공 기관	제공 정보
산림입지조사도	산림청	임도, 식생조사, 산림휴양림, 산지재해방지림, 소반, 수원함양림, 국유임반계, 자연환경보전림, 수원함양림, 지적도병합자료, 지형도
동식물분포도	국립환경과학원	양서류, 담수어류, 담수무척추동물, 포유류, 파충류, 조류, 육지 지형경관, 곤충, 식물
토양주제도	국립농업과학원	아목, 심토도성, 심토자갈함량, 심토주토색, 배수등급, 모재, 목, 토지이용추천, 지형
국토환경성평가지도	환경부	환경적 가치를 종합적으로 평가하여 전국을 5개의 등급으로 분류
수치임상도	환경부	자연경관, 습지평가, 동식물평가, 식생우수성, 녹지자연도, 밀도, 경급, 영급, 임상, 식물군락명, 식물군락기, 식생보전
수치지질도	한국지질자원연구원	암군명, 지질시대명, 암석명, 지질경계선, 주향, 경사상태
토지피복도	환경부	시가화 건조지역, 농업지역, 나지, 초지, 습지, 수계, 산림지역
산림조사자료	환경부	해발, 방위, 경사, 지형, 군락명, 낙엽 부식층, 우세목의 높이와 식피율(교목층, 아교목층, 관목제1층, 관목제2층, 초본층), 출현종수
NFI(National Forest Inventory)	산림청	임상, 수관밀도, 경급, 영급, 출현종수, 총본수, 임종, 소유형태 등

질경계선에 대한 정보를 제공받을 수 있다. 뿐만 아니라 주향과 경사상태 등에 대한 정보를 제공한다.

3) 대상지역의 국가 생태정보

현재 국가의 환경 모니터링과 효율적인 국토 관리를 위하여 전 국토를 대상으로 산림정보를 제공하고 있다. 현재 기 구축되어 있는 산림정보는 산림청, 환경부, 국립환경과학원, 국립농업과학원 등에서 제공하고 있다(표 1).

산림청에서 제공되는 산림입지조사도는 전국 산림의 기본정보인 임지의 입지조건 토양 성질, 임목 생육상태를 조사하여 임지의 잠재생산력을 파악, 유형별로 분류·구축함으로써 과학적인 산림경영을 위한 기초자료 및 적지적수, 환경영향평가 등에 활용된다. 동식물분포도는 국립환경과학원에서 동·식물의 조사지점 및 발견지점을 점형태로 표시하고 그에 대한 속성정보를 제공하며, 국립농업과학원에서는 GIS기법을 이용하여 전국을 대상으로 토양의 형태적, 물리적, 화학적 특성을 제공한다. 환경부에서는 국토환경성평가지도, 생태자연도, 토지피복도, 산림조사자료를 제공한다. 국토환경성평가지도는 국토의 친환경적이고 계획적인 보전, 개발, 이용을 유도하기위하여 환경적 가치를 종합적으로 평가하여 전국을 5개의 등급(환경적 가치가 높은 경우를 1등급으로 분류)화한 지도이며, 토지피복도는 위성사진을 주된 자료로 활용하여 국토공간의

피복상태를 대분류, 중분류, 세분류의 3단계의 분류 체계로 구분하여 나타낸 지도이다. 산림조사부자료는 10m×10m의 정방형 조사면적을 대상으로, 모든 조사지점에 대하여 TM좌표를 기록하고 모니터링에 대비해 좌표를 기록한다. 마지막으로 산림청에서 제공되는 NFI자료는 전국 산림을 대상으로 조사한 산림자원조사로써 과학적인 방법으로 조사·평가하여 국가산림통계자료를 제작하고 있다.

III. 생물다양성 및 생태서비스의 가치평가 방법

1. 직접사용가치

1) 임목재적가치평가

목재는 산림지역의 가치를 평가하는데 필요한 가장 기본적인 항목이다. 직접사용가치를 평가하기 위해서는 산림부산물·목재 등의 평가요소를 이용하여 가치를 도출해 낼 수 있다. 하지만 연구대상지역인 강원도 평창군지역의 산림부산물이 약재·특용작물의 현황에 대한 자료 획득의 한계가 존재하므로 단위면적당(1ha) 분포하는 산림의 분포(m³)인 임목재적 가치를 직접사용가치평가를 위해 고려하였다. 이는 대상지역에서 존재하는 임상은 다양하며 수종에 따라 임목가격의 차이가 있을 것으로 보고 임분재적량을 추정하여 수종과 기층높이에서 쟈

표 2. 임분재적식

수종	임분재적식
강원지방소나무	$\ln V = -7.7049 + 1.7509 \ln H + 1.8275 \ln CD$
낙엽송	$\ln V = -6.3278 + 0.7801 \ln H + 1.7481 \ln CD$

나무의 직경에 따라 등급을 나눈 경급에 따라 구분된 입목가격을 적용해 입목재적가치를 평가할 수 있다. 대상지역 내 정확한 임분재적량(V)을 결정하기 위해 표 2와 같이 대상지역내 수종별 수고(H)와 수관밀도(CD)를 인자로 하는 이변수 임분재적식을 활용하였다(송영선 등, 2006).

산림의 가치를 추정하기 위해서는 먼저 대상지역 내 정확한 임분재적량을 계산해야 하는데 이를 위해서는 대상지역내 수고와 밀도를 파악하는 것이 가장 중요하다. 본 연구에서는 산림의 임분재적량을 구하기 위해 수고와 수종·경급에 따른 밀도를 변수로 하는 2변수 임분재적 추정식을 활용하였으며 수종의 밀도에 대한 정보는 임상도를 통해 확인하였다. 하지만 본 연구에서 활용한 대상지역의 임상도만을 이용해서는 수고를 추정하는데 한계가 있으므로, 항공 LiDAR와 지상 LiDAR를 이용하여 강원도 지방의 수고를 산출한 연구를 바탕으로 대상지역의 수고를 10m라고 가정하여 연구를 진행하였다(송영선 등, 2006). 혼효림의 경우는 임분재적식이 없으므로 대략침엽수와 활엽수가 동일 비율로 분포한다고 가정하고 강원지방소나무와 낙엽송의 임분재적식을 각각 사용하여 평균값을 사용하였다.

도출된 임분재적량에 수종·경급별 면적을 계산하여 총 임분재적량을 출한 뒤, 입목가격과 계산하여 최종 입목재적가치를 평가하였다. 입목가격은 산림조합중앙회 임산물 유통정보시스템에서 제공하는 국산원목가격에서 벌채비, 운반비, 집재비 및 기타비용을 입목가격으로 환산하여 평가하였다(산림조합중앙회, 2008).

2. 간접사용가치

1) 탄소저장량평가

탄소 저장량은 산림축적에 특정 계수를 곱해 수

목의 바이오매스를 구한 뒤, 그 값에 0.5를 곱하여 추정할 수 있으나(손영모 등, 2006), 현재 수종별 산림축적에 대한 데이터가 존재하지 않으므로 이를 추정해야 한다. 본 연구에서는 산림 축적 대신 총 임분재적량을 사용함으로써 수목이 저장하고 있는 탄소의 질량을 추정하였다. 임분재적량 산정을 위해 직접사용가치평가를 위해 활용한 2변수 임분재적식을 사용한 결과를 동일하게 적용하였다.

탄소 ton당 가치가 우리나라에서는 연구된 바 없으므로 해외 연구사례에서 원단위를 도출하였다. 자연적으로 저장된 탄소가 지속적으로 보존될 경우, ton당 \$20, 약 24,000원 (2009년 8월 기준 약 1,200원/\$)의 가치를 가지는 것으로 추정하고 있다(Douglas C. M, 등 2001). 원단위 도출에 앞서 세 가지 사항에 대해 가정하였다. 첫째, 초기 투자비용은 없는 것으로 가정하고, 둘째, 탄소를 보존함으로써 얻는 화폐가치는 매년 \$20에서 변함이 없는 것으로 가정하였다. 마지막으로 산림을 보호하기 위해 추가적으로 발생하는 금액은 무시하였다.

2) 이산화탄소 상쇄로 인한 가치평가

이산화탄소의 경우에는 식생의 광합성 기작에 있어 필수적인 기체인 동시에 지구 온난화의 원인 물질이기도 하다. 지구 온난화로 인해 세계적인 문제로 대두되고 있는 이산화탄소는 지구의 기온을 높이는 대표적인 기체로 꼽히며, 이를 상쇄시키기 위해 다양한 정책들이 시행되고 있다. 이산화탄소 상쇄로 인한 가치평가는 국립산림과학원에서 발표된 자료를 활용하여 평가할 수 있었다(이경학, 2008). 이 자료를 통해 표 3과 같이 1ton의 CO₂ 배출 상쇄를 위한 산림조성 면적 및 식재본수를 확인할 수 있다.

표 3. 수종별 이산화탄소 배출 상쇄 면적에 따른 식재 본수

수종	면적	식재본수
소나무	1200m ²	360그루
신갈나무	800m ²	240그루
낙엽송	900m ²	270그루
잣나무	1000m ²	300그루
상수리나무	800m ²	240그루
편백	1400m ²	420그루

CO₂ 상쇄로 인한 가치를 평가하기 위해서는 탄소저장량 가치평가를 위해 사용했던 수종별 수관밀도정보를 활용하였으며, 확인한 수종별 수관밀도정보를 통해 식생별 차지하고 있는 면적을 산출면적에 1ton의 CO₂ 배출상쇄를 위한 산림조성 면적(ton/m²)으로 계산하여 식생별 대기 중 탄소를 상쇄함으로 발생하는 가치를 평가하였다.

3) 수원함양기능평가

우리나라 산림의 수원함양은 ha당 2,780ton으로 보고되었으며(국립산림과학원, 2007), 이는 우리나라 산림토양에 대한 모암지대별 평균 토심과 최대 저수량 추정치를 계산하여 추정된 것이다. 이를 기반으로 유역에 존재하는 임상별 밀도에 의한 수원저수량을 활용하였다. 다만 혼효림에 대한 저수량 정보가 제공되고 있지 않으므로 본 논문에서는 혼효림의 저수량을 활엽수림과 침엽수림의 산술평균으로 계산하였다.

수원함양기능의 가치를 평가하기 위해 다목적댐의 건설비를 기준으로 댐의 건설효과가 얼마나 지속될 것인가를 평가하였다. 이를 위해 댐의 내구연한을 통해 댐의 경제적 가치가 낮아져 쓸모없게 될 때까지의 기간을 고려해 가치감소를 산정하여 비용을 계산하는 감가상각산정 방법을 이용하였다. 감가상각비를 계산하기 위해 '댐 건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률 시행령' 제 27조를 기반으로 감가상각비를 적용하여 평가하였다.

4) 토사유출방지기능평가

산림의 토사유출량은 입목지에서의 구성모암에 따라 크게 다르기 때문에 모암별·임상별 토사유출량이 얻어져야 한다. 본 연구에서는 국립산림과학원에서 모암, 영급, 토사유출량을 분석하여 모암별 임령과 토사유출량과의 관련 회귀식을 도출해 모암별(화강암, 기타화성암, 편마암, 기타변성암, 퇴적암) 산정된 입목지와 수목이 생립하고 있는 얇은 무립목지의 토사유출방지량을 계산한 결과를 활용하였다(국립산림과학원, 2007). 토사유출량에 대한 가치를 최종적으로 평가하기 위해 입목지와 무립목

지의 토사유출량 차이를 계산하였다.

본 연구에서는 지질자원연구원에서 획득한 수치지질도를 기반으로 모암에 대한 정보 획득 및 연구를 진행하였다. 토사유출방지기능의 가치평가를 위해서는 콘크리트 사방댐의 건설비용을 이용하였다(환경부 2007). 즉, 산림에 의해 저지되는 토사유출방지량을 사방댐 건설로 인해 저지할 수 있는 토사량으로 환산하여 산림의 가치를 평가하였으며 그 식은 아래수식 1과 같다(국립산림과학원, 2007).

$$\begin{aligned} & \text{산림 토사유출방지 가치(원)} \\ & = \text{토사유출방지량(m}^3\text{)} \times 7.515 \text{원} \quad (1) \\ & (\text{토사유출모암별 1m}^3\text{당 방지비}) \end{aligned}$$

3. 비용가치평가(CA)

평창군 생물다양성 및 생태서비스의 가치를 CA로 평가하기 위해서는 그 구성과 의미를 응답자에게 정확하게 전달하는 것이 중요하다. 생물다양성과 생태서비스의 속성을 구분하기 위해 관련 전문가의 의견과 본 연구의 특성을 감안하여 5가지 속성으로 구분하였다(표 4). 종의 출현빈도, 종의 다양성, 희귀종·고유종의 유무, 식생의 수고분포, 토양의 질 5가지 속성과 각 속성별 세부수준을 구분하였다. 또한 이를 화폐가치로 유도하기 위해 가격변수를 설정해야 한다. 지불수단으로 생물다양성 및 생태서비스의 증진을 위해 전담기구가 필요하며 이 기구의 재원마련을 위한 소득세 인상을 제시하였다. 소득세의 수준은 사전조사를 통해 매월 500원/1,000원/1,500원/2,000원 4가지로 설정하여 설문지를 설계하였다.

속성과 각 속성의 수준별 선택대안을 구성할 경우 비현실적으로 대안이 많아지므로, 최소 선택대안 집합을 도출하기 위해 주효과 직교설계를 실시하여 32개의 선택대안을 도출하였다. 도출된 선택대안에서 대안 2개와 '둘 다 선호하지 않음'이라는 1개의 선택대안을 조합하고, 하나의 블록에 8개의 선택지를 조합하여 2개의 블록으로 설문지를 구성하였다. 설문대상은 7대 광역 대도시의 20세 이상 60세 미만을 대상으로 2010년 09월20일부터 09월 27일까지 7일간 인터넷 설문조사를 실시하여

표 4. 평창군 생물다양성 및 생태서비스의 속성과 수준

속 성	속성 설명	속성 수준		
		빈약	보통	풍부
종의 출현빈도	동일 종의 개체수가 많고 적음을 나타냄	빈약	보통	풍부
종의 다양성	출현 종의 수가 많고 적음을 나타냄	10종 이하	10~30종	30종 이상
희귀종 · 고유종의 유무	희귀종 · 고유종이 출현하는지를 의미	없음		있음
식생의 수고분포	고층, 중층, 저층부 식생의 수직적 분포	저층부	저층부+중층부	저층부+중층부+고층부
토양의 질	토양의 등급	3등급(나쁨)	2등급(보통)	1등급(우수)
추가적인 가구당 소득세	생물다양성의 증진을 위한 매월 추가로 지불할 소득세	매월500원 (매년6,000원)	매월1,000원 (매년12,000원)	매월1,500원 (매년18,000원) 매월2,000원 (매년24,000원)

1,068부의 설문을 회수하였다. 생물다양성 및 생태서비스의 속성과 수준을 응답자에게 효과적으로 전달하기 위해 일러스트레이터를 통해 시각적으로 표현하여 정보를 제공하였다.

CA는 확률효용모형을 이용하여 정형화될 수 있다. McFadden(1974)에 의해 개발된 다항로짓모형(multinomial logit model)은 개별 속성들이 응답자의 선택확률에 영향을 주는지를 모형화하는데 있어 통계적인 체계를 제공한다. 다항로짓모형은 선택행위들이 관련 없는 대안들로부터의 독립성(independence from alternative)을 따른다고 가정한다. 응답자가 선택대안을 선택할 확률은 다음과 같이 주어진다(수식 2).

$$P_i(j|C_i) = \frac{\Pr\{V_{ij} + e_{ij} > V_{ik} + e_{ik}\}}{\Pr\{V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}\}} \quad (2)$$

위 식을 추정하기 위해서는 다항로짓모형 하에서 오차항의 분포는 통상 독립적이며 일치적인 제 I 형태 극치 분포를 따른다고 가정된다. 이 경우 응답자 i 가 선택대안 j 를 선택할 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다(수식 3).

$$P_i(j|C_i) = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(V_{ik})} \quad (3)$$

CA 설문으로부터 얻어진 각 응답자의 다변량 응답(multinomial response)은 응답자의 효용극대화를 위한 선택결과로서 해석될 수 있다. 본 연구에서는 3개의 대안을 제시하고 그 중 1개의 대안을 선

택하도록 하고 있다. 이 때 질문에 직면한 개별 응답자 $i=1, \dots, N$ 의 선택대안 j 에 대한 선택결과는 '예' 또는 '아니오'가 된다. 따라서 로그-우도함수는 다음과 같이 표현된다(수식 4).

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 \{Y_{ij} \ln [\Pr_i(j|C)]\} \quad (4)$$

위의 수식 4의 로그우도함수에 최우추정법을 적용하면 필요한 모수들의 값이 추정된다. 한편 간접 효용함수의 관측가능한 부분 V_{ij} 를 다음과 같이 정형화할 수 있다.

$$V_{ij} = \beta_1 Z_{1,ij} + \beta_2 Z_{2,ij} + \beta_3 Z_{3,ij} + \beta_4 Z_{4,ij} \quad (5)$$

수식 5에 로이의 항등식(Roy's identity)을 적용하면 개별속성에 대한 한계 지불의사액(MWTP)을 구할 수 있다. 즉 수식 5를 전미분한 후 약간의 조작을 하면 개별 속성의 현재 수준으로부터 한 단위 증가에 대한 한계지불의사액을 다음과 같이 계산할 수 있다(수식 6).

$$\begin{aligned} MWTP_{Z1} &= dZ_p/dZ_1 = -\beta_1/\beta_4 \\ MWTP_{Z2} &= dZ_p/dZ_2 = -\beta_2/\beta_4 \\ MWTP_{Z3} &= dZ_p/dZ_3 = -\beta_3/\beta_4 \end{aligned} \quad (6)$$

IV. 분석결과

1. 직접사용가치평가(임목재적가치평가)

강원도 평창군 산림의 총 면적은 약 1,227km²이며, 평창군의 임상도를 기반으로 임분재적가치평가

표 5. 임목재적당 가치 산출표

수종	경급	총임분재적량(m ³)	입목가격(원/m ³)	임분재적 가치(천원)	
침엽수림	1	226,606	17,400	3,942,944	44,569,458
	2	531,385	54,328	28,869,084	
	3	122,670	95,846	11,757,429	
활엽수림	1	741,719	24,614	18,256,671	60,746,254
	2	1,167,600	30,368	35,457,677	
	3	195,984	35,880	7,031,906	
혼효림	1	124,142	21,374	2,653,411	37,168,750
	2	646,990	41,705	26,982,718	
	3	117,609	64,048	7,532,621	
총계				142,484,462	

표 6. 대상지역에 대한 수종& 밀도별 탄소저장량

밀도 (%)	낙엽송 (ton)	활엽수 (ton)	혼효림 (ton)	임분재적 (m ³)
30	1,616	487	600	5,989
60	75,583	156,912	120,596	646,961
80	128,538	646,221	245,630	1,726,936

를 하였다. 수고를 10m로 가정하고 임상도로부터 수종 및 나무의 밀도와 경급을 이용하여 대상 지역 내의 총 임분재적량을 산출하고, 입목가격을 고려하여 산림의 임분재적가치를 계산한 결과 약 1,425 억원으로 산정되었다(표 5).

2. 간접사용가치평가

1) 탄소저장량평가

대상 지역의 총 임분재적량을 이용해 계산된 탄소의 저장량은 총 1,710,712 ton로 추정되었으며, 대상 지역 산림의 임상별 각 지속 년도와 밀도에 따라 평창 전 지역에 대한 탄소의 저장량을 평가한 결과는 다음 표 6과 같다. 이를 기반으로 탄소저장량에 대한 탄소의 화폐가치를 평가하기 위해 첫째, 탄소의 양이 10년간 보존된다고 가정하였으며, 둘째 이자율은 3%로 가정하였다. 그 결과 약 3,504억 원의 가치를 갖는 것으로 평가되었다.

2) 이산화탄소상쇄로 인한 가치평가

수목이 일정 면적 내 적정 개체수를 유지하고 있다는 가정 하에 수종별 요구면적에 따른 식재본수를 만족할 경우 일정량의 CO₂ 상쇄량을 분석하였

표 7. 임상별 수원함양량

임상	수원함양량 (ton)
침엽수림	4,560,700
활엽수림	1,450,780
혼효림	1,075,620
총계	7,087,100

다. 그리고 가치평가를 위해 이산화탄소 1ton에 대한 거래비용을 계산하여 이산화탄소상쇄에 대한 가치를 분석한 결과, 평창군지역에 대해 연간 108억 원의 이익이 발생하는 것으로 산출되었다.

3) 수원함양기능평가

수원의 총 함량은 침엽수림이 총 4,560,700 ton/ha, 활엽수림에는 1,450,780 ton/ha 혼효림은 1,075,620 ton/ha의 수원이 포함된 것으로 확인되어, 총 7,087,100 ton/ha가 저장되어 있음을 추정하였다. 다목적댐의 건설비는 국립산림과학원(2007)의 연구내용을 토대로 12,968원/ton으로 산정하였으며, '댐건설 및 주변지역지원 등에 관한법률시행령' 제27조에 따라 홍수조절에 따른 잔존가치는 0%로 하였으며, 내구연한은 80년으로 적용하였다. 그 결과 대상지역에 분포하고 있는 7,087,100ton의 수원함양량에 대한 경제적인 가치는 감가상각율이 1.25%로 약 804억원의 가치를 갖는 것으로 평가되었다(표 7).

4) 토사유출방지가능평가

대상지역의 모암의 분포를 확인하기 위해 지질사원연구원에서 제공하는 지질도를 통해 강원도 평창

표 8. 대상지역 토사유출량

모암군	총 토사유출량(m ³ /년)		토사유출량평가 (천원)
	입목지	무림목지	
화강암	49,030	1,136,441	7,808,288
기타화성암	2,833	7,043,292	48,176,474
편마암	33,155	6,385,668	43,756,105
기타변성암	9,051	3,813,298	2,382,150
퇴적암	14,846	1,028,601	6,982,742
합계	108,915	19,407,300	109,105,759

군의 모암의 분포를 파악하고, 대상지 암석의 총 토사유출량을 추정한 결과 입목지의 토사유출량은 108,915m³/년이며, 무림목지의 토사유출량은 19,407,300m³/년으로 추정하였다. 여기에 국립산림과학원 2007에서 발표한 토사유출모암별 1m³/년 당 방지비용인 6,888원을 적용하여 대상지역의 산림의 토사유출방지기능을 평가한 결과 약 1,091억원으로 평가되었다(표 8).

3. 비 사용가치평가(CA분석)

평창군 생물다양성 및 생태서비스의 증진을 위한 매월 추가로 지불하고자 하는 소득세와 각 속성의 수준에 따른 선택대안의 조합에서 응답자의 선택에 따른 확률을 통해 한계지불의사금액을 도출하였다. Stata 9.0 프로그램을 이용하여 다항로지토형(Multinomial logit Model)을 통해 각 속성과 수준에 차이에 따른 한계지불의사액을 추정하였다. 그 결과 평창군의 생물다양성 및 생태서비스 속성별로 가장 높은 수준의 환경에 있다는 가정 하에 응답자들은 각 속성별로 한 수준의 하락에 아래 표 9

와 같이 한계지불의사액에 해당하는 가치를 부여할 의사가 있는 것으로 확인하였다.

가구당 평창군 생물다양성 및 생태서비스의 가치를 추정하면 가구당 113,136원의 가치를 산출하는 것으로 평가되었으며, 2009년 예측 전국 가구수를 가구당 생물다양성의 가치와 곱하면 그 가치는 약 1조 6,656억원으로 산출되었다.

V. 결론 및 토의

본 연구에서는 기 구축되어 있는 국가의 생태정보를 활용하여 대상지역의 생물다양성과 생태서비스에 대한 가치평가를 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 선행 국내·외 연구를 통해 가치평가를 위한 항목들을 선정하여 사용가치, 비사용가치를 평가하였다(표 10). 사용가치는 직·간접사용가치로 구분하여 평가하였으며 직접사용가치를 위해 산림의 임목축적에 의한 임목재적가치를 평가한 결과 약 1,425억원의 가치를 갖는 것으로 평가되었다. 간접사용가치평가를 위해서 탄소저장량에 대한 가치를 평가한 결과 약 3,504억원의 가치를 갖는 것으로 평가되었으며, 산림의 이산화탄소상쇄로 인한 가치는 약 108억원인 것으로 확인되었다. 더불어 산림휴양기능과 토사유출방지기능에 대한 가치를 평가한 결과 각각 약 804억원, 1091억원의 가치로 평가되었다. 대상지역의 생물다양성 및 생태서비스의 비사용가치를 평가를 위해 CA분석을 한 결과 약 1조 6656억원으로 평가되었다.

평창군 면적은 우리나라 국토의 약 1.5%임에도

표 9. 평창군 생물다양성 및 생태서비스 속성에 대한 지불의사액 추정

속 성	추정치 (z-value)	수준	한계지불의 사액	최대 지불의사액(원/월)		
				평균	하한	상한
종의 출현빈도	0.3336*** (17.44)	3	709원	2,128	1,714	2,636
종의 다양성	0.4100*** (21.3)	3	872원	2,616	2,155	3,181
희귀종·고유종의 유무	0.0699*** (4.4)	2	149원	297	225	717
식생의 수고분포	0.1218*** (6.35)	3	259원	777	487	1,132
토양의 질	0.5657*** (29.55)	3	1,203원	3,610	3,058	4,286
추가적인 가구당 소득세	-0.4702*** (-19.2)					

*** : 유의수준 1%, ** : 유의수준 5%

표 10. 가치평가 결과

가치구분		가치평가 항목	가치평가 결과
사용가치	직접사용가치	임목재적가치평가	1,425억원
	간접사용가치	탄소저장가치평가	3,504억원
		이산화탄소상쇄가치평가	108억원
		수원함양기능가치평가	804억원
		토사유출방지기능평가	1,091억원
비사용가치		CA	1조 6,656억원
총 액			2조 3,588억원

불구하고 평창군의 생물다양성과 생태서비스의 경제적 가치는 2조 3,588억원으로 산정되었다. 이와 같이 생물다양성 및 생태서비스의 가치는 가시적으로 확인하기는 어렵지만 경제적 가치로 환산할 경우, 상당한 가치가 있음을 확인하였다.

본 연구는 대상지역의 생물다양성과 생태서비스에 대한 경제가치를 고려한 정책을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 이는 국가의 정책 아젠다인 녹색성장과 더불어 생물다양성 보존에 대한 인센티브 지급과 같은 정책을 접목하여 새로운 사업을 도출함과 동시에 생물다양성의 보존에 대한 필요성을 인식하고, 지속적인 모니터링을 가능하게 할 수 있을 것이다.

하지만 임목재적가치, 탄소저장량, 이산화탄소상쇄가치를 평가하는데 있어 산림의 수고를 고려한 이변수 임분재적식을 사용하여 보다 정확한 가치평가가 이루어져야 할 것이다. 특히, 탄소저장량과 이산화탄소의 상쇄가치를 평가하는데 있어 국외의 자료를 참고하여 1톤당 탄소의 가치 및 이산화탄소의 가치를 적용한 본 연구의 한계를 극복하는 국내실정에 맞는 가치평가가 추후에 연구되어야 할 것이다. 그리고 토사유출은 모암뿐만 아니라 산림 주변의 토양 등에도 큰 영향을 받을 것으로 예상되므로 이를 고려한 연구가 요구된다.

참고문헌

국립산림과학원, 2007, 산림의 공익기능 계량화 연구.
산림조합중앙회, 2008, 임산물 유통정보시스템,
<http://www.forestinfo.or.kr>.

산림청, 2010, 우리나라 생물다양성과 산림생태계 서비스의 경제적 가치.

손영모, 김종찬, 이경학, 김래현, 2006, 우리나라 산림 바이오매스 자원평가, 국립산림과학원.
송영선, 손홍규, 이석우, 2006, LiDAR 자료 및 SPOT-4 위성영상을 활용한 산불피해 분석, 대한토목학회논문지, 26(3), 527-534.

신영철, 2010, 생물다양성의 경제적 가치평가.

윤성탁, 2004, 환경생태학, 아카데미서적.

이경학, 2008, 국립산림과학원 보도자료 - 내가 배출한 이산화탄소 나무심기로 흡수한다.

이동근, 윤소원, 1997, 연안습지의 보전가치에 대한 경제성평가에 관한 연구 - 강화도를 사례지역으로, 산업과학연구, 7, 41-154.

이준구, 신영철, 2000, 그린벨트의 경제적 가치 측정 - 수도권 그린벨트 보존가치를 중심으로, 자원·환경경제연구, 9(4), 773-800.

통계청, 2010, e-나라지표: 생물종 현황, http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/P_O_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=1462.

표희동, 2001, 이중경계 양자택일형 조건부 가치측정법을 이용한 영산강유역 갯벌의 보존가치 추정, 지역연구, 17(1), 37-54.

환경부, 2007, 생물다양성의 사회·경제적 가치평가 기법의 도출 및 적용.

환경부, 2010, 생태정보관리시스템을 이용한 생물다양성 경제가치평가 기술 개발 및 표준화.

홍성권, 1998, 여의도 공원의 경제적 가치 평가 - 가상가치추정법을 적용하여, 한국조경학회지, 26(3), 90-103.

- Douglas C. M., Elizabeth I. D., David A. E., 2001, Modelling the Non-market Environmental Costs and Benefits of Biodiversity Projects Using Contingent Valuation Data, *Environmental and Resource Economics*, 18(4), 391-410.
- McFadden, D, 1974, Conditional logit analysis of qualitative choice behavior in P. Zarembka, ed., *Frontiers in Econometrics*, New York : Academic Press.
- Pearce D. W., Warford J. J., 1993, *World Without End: Economics, Environment and Sustainable Development*, Oxford University Press.
- Raven P. H., Wilson E. O., 1992, A Fifty-Year Plan for Biodiversity Surveys, *Science*, 258(5085), 1099-1100.

최종원고채택 11. 08. 25