

산림훼손 환경비용 추정연구: 석회석광산 개발사업 사례를 중심으로*

Estimation of Environmental Costs for Deforestation: Focusing on the Case of Limestone Mine Development Projects

이혁중** · 김윤경*** · 윤태연****

Hyeck-Jung Lee · Yoon-Kyeng Kim · Tae-Yeon Yoon

요약: 기후변화와 환경문제 관련 이슈들이 불거지면서 온실가스흡수, 수원함양, 생물다양성보전 등과 같은 산림의 공익적 기능들의 가치를 평가하기 위한 다양한 연구들이 발표되고 있다. 반면 산지개발사업에 앞서 수행되는 경제성 평가를 위한 공식적인 방법은 아직 부재한 상황이다. 본 연구는 국립산림과학원의 기능별 계량화 방법을 토대로 삼척시 ○○광구 석회석광산 개발사업의 실제 사례를 통해 산림훼손의 환경비용을 평가하는 과정을 제시한다. 광산 개발사업과 사업지역 산림의 특성을 반영하여 평가대상에 포함될 기능들을 선정하며, 사업기간 연도별 훼손면적과 복원면적을 산정하여 각 기능의 성격을 고려하여 달리 적용한다. 기능별 평가과정에서도 멸종위기종과 백두대간의 가치를 포함하는 등 사업지역의 특수성을 반영한다. 최종 219.4ha 산림을 대상으로 수행되는 해당 개발사업의 산림훼손 환경비용은 산림 복원비용 58.6억 원, 산소생산 47.7억 원, 수원함양 17.1억 원, 생물다양성보전 15.1억 원 등을 포함한 총 168.4억 원으로 추정된다. 관련 경제성 평가에 있어 사업마다의 특수성을 충실히 반영하기 위해서는 기능별 계량화 방법이 합리적일 수 있다. 반면, 일관성 있는 경제성 평가를 위해서는 기능마다의 평가기준과 대체재 선정에 대한 충분한 논의가 필요할 것이다.

핵심주제어: 산림훼손, 경제성 평가, 석회석광산 개발사업, 환경비용

Abstract: This study aims to present an environmental cost evaluation process for deforestation through the analysis of an actual case study of a limestone mine development project in ○○ Mine in Samcheok, based on the quantification method proposed by the National Institute of Forest Science. The public interest functions of forests to be included in the evaluation are selected by reflecting on the characteristics of mining development projects and forests in the project area. After calculating the deforestation and restoration area for each year, it is applied differently to the evaluations by year and by function. The evaluation by function also reflects the characteristics of the project, such as the value of endangered species in the Baekdudaegan Mountain Range. The environmental cost of deforestation for the 219-hactare mine development project is estimated to be 168.4 billion won in total, including 58.6 billion won for forest restoration, 47.7 billion won for oxygen production, and 1.71 billion won for water resource storage. The quantification method of each forest function may be suitable for reflecting on the economic evaluation of the characteristics of each project. In addition, for a more consistent economic evaluation, sufficient discussion and agreement on evaluation criteria and selection of alternative goods are required.

Key Words: Deforestation, Economic Valuation, Mine Development Project, Environmental Costs

* 본 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(NRF-2019S1A5C2A03 082527)을 받아 수행된 연구임.

** 주저자, 선문대학교 글로벌지속가능발전경제연구소 연구원

*** 공동저자, 이화여자대학교 경제학과 교수

**** 교신저자, 선문대학교 국제경제통상학과 부교수

I. 서론

기존 산림의 경제적 가치에 관한 연구는 효율적이고 지속가능한 임산물 생산과 같은 직접적인 시장재의 가치를 평가하는 데에 국한되었으나 산림이 제공하는 다양한 기능들이 공공의 편익을 증가시킨다는 사실이 제기되면서(Bader et al., 2011) 이들 공익적 기능들에 대한 가치를 평가하는 연구가 본격화 되었다. 산림의 대표적인 공익적 기능으로는 수원함양, 대기정화, 온실가스흡수 등이 알려져 왔으며, 각국의 산림기능에 관한 통계를 집계하는 세계식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)에서는 2010년부터 유전자보전 기능을, 그리고 2015년부터는 탄소저장 기능을 추가하는 등 점차 세분화하고 있다. 한편 지구온난화로 인한 이상기후가 빈번히 발생하면서 온실가스를 흡수하고 지표면의 수분 증발을 막아 온도 상승을 억제하는 산림의 중요성이 강조됨에 따라(Masson-Delmotte et al., 2018), 산림이 제공하는 다양한 가치를 계량화하고 추정하기 위한 연구들이 이어지고 있다(예, Tyrväinen and Vänänäen, 2001; Nielsen et al., 2007; Schaafsma et al., 2014). 국내의 경우 국립산림과학원이 1987년 최초로 산림의 기능들에 대한 경제적 가치를 평가한 이후 2~5년 주기로 2018년까지 11차례에 걸쳐 그 가치를 추정·발표해오고 있다. 2018년의 공익적 기능들에 대한 평가액은 연간 약 221조 원에 달하는 것으로 집계된 바 있으며(국립산림과학원, 2020), 이는 이전인 2014년 발표액 대비 약 76%가 증가한 수치이다.

산림의 중요성에 대한 인식이 확산됨에 따라 공익적 기능의 범위와 경제적 가치 역시 꾸준히 확대되고 있으며, 정부에서도 1993년 「환경영향평가법」개정 이래 산지의 개발을 전략환경영향평가의 대상에 포함하여 개발사업의 적정성을 사전에 예측·분석하여 무분별한 훼손을 막고자 노력하고 있다.¹⁾ 2007년부터 2013년까지 환경영향평가 대상사업의 개발면적은 총 106,764ha로, 이중 삼분의 일이 넘는 39,249ha가 산지를 대상으로

1) 「환경영향평가법」 제9조(전략환경영향평가의 대상).

수행되었다. 주로 도시개발, 태양광설치, 산업단지조성, 토석·광물채취 등의 사업이 진행되며, 개발유형에 따라 훼손의 정도가 상이하나 산지의 경사나 고도가 높아질수록 훼손비율이 높아지는 것으로 알려져 있다. 특히 토석이나 광물 등의 채취사업은 일반적으로 경사가 가파른 산지에서 진행되며, 그 결과 훼손이 상대적으로 심각한 복합형 산지개발사업²⁾의 70.2%를 차지하는 것으로 보고되고 있다(유재심 등, 2016). 토석·광물 채취사업은 사업 초기의 대규모 산림훼손은 물론이며, 사업을 운영하는 과정에서 광산배수유출, 토양오염, 폐석·광물찌꺼기유실 등의 다양한 광해를 일으키며 이러한 추가적인 피해로 연간 379.1억 원의 외부비용이 발생하는 것으로 보고된 바도 있다(유승훈 등, 2011).

산림의 공익적 기능에 대한 사회적 관심이 커지며 이들 기능들은 확대·재평가되고 있는 반면, 광산 개발과 같은 대규모로 산림을 훼손하는 사업의 경우 시행에 앞서 환경비용이 정확히 추정되어야 하나 아직까지 계량화할 수 있는 공식적인 산정방법은 제시되지 않고 있다(한국개발연구원, 2002). 지금까지 국립산림과학원을 비롯하여 산림의 경제적 가치를 추정하기 위한 다수의 문헌들이 확인되지만 평가의 항목 및 기준이 지속적으로 변하거나 사업의 특수성이 충분히 고려되지 않아 현장에서 수행되는 비용·편익 분석과는 일부 간극이 존재한다. 우선 지적할 수 있는 점은 사업이 진행됨에 따라 산림의 면적은 꾸준히 변한다는 것이다. 예를 들어 광산개발 사업은 개발면적을 나누어 순차적으로 진행되며, 각 개발단계마다 잔존하는 면적이 상이하며, 채광이 완료된 후에는 복원작업이 이루어진다. 따라서 단계마다 산림면적 변화와 복원작업 정도와 같은 사업계획에 따른 분석이 이루어져야 하나 기존 연구들에서는 이러한 순차적인 변화를 세세히 반영하지는 않는다.³⁾ 다음으로 다양한 오염 방지·저감시설

2) 유재심 등(2016)은 산림 피복률이 50~70%인 개발사업을 산림형 개발, 경사 8.5° 이상인 경우 산지형 개발로 분류하며, 두 조건을 모두 만족할 경우 복합형 산지개발로 분류한다.

3) 국립산림과학원에서 수행되는 관련 연구들을 비롯한 대부분의 국내외 연구들은 산림이 제공하는 전반의 사회적 편익에 초점을 맞추며, 특정 사업의 수행과 같은 순차적으로 산림이 훼손되는 상황은 고려치 않는다.

이 설치되기 때문에 산림훼손으로 인해 예상되는 환경문제는 일부 완화 또는 해소될 수 있을 것이다. 사업진행 과정에서 탁류나 토사의 유출방지 시설, 세류·세차시설 등과 같은 시설들이 설치되며, 해당 시설은 일부 산림의 기능을 대체하여 수질오염이나 토사유출과 같은 문제를 일정부분 완화할 수 있다. 광산 개발과 같은 사업의 경우 주로 거주지에서 멀리 떨어진 산지에서 진행되며 주민들의 접근이 어렵다는 지리적 특성을 가진다는 점 역시 지적될 수 있다. 접근성이 떨어지는 산림의 경우 관광이나 거주지 인근의 산림과는 일부 기능들의 가치는 달리 평가될 수 있을 것이다. 예를 들어 경관이나 휴양 기능의 가치는 상대적으로 낮을 것으로 예상되는 반면, 생물다양성보존 기능의 경우 접근성이 낮을수록 오히려 생태계 보전에 유리하기 때문에 높게 평가될 수 있을 것이다. 산림이 제공하는 공익적 기능들에 대한 연구는 꾸준히 발전해온 반면, 이러한 사업마다의 특수성으로 인해 연구의 결과들을 실제 현장에서 필요로 하는 경제성 평가에 바로 적용하기에는 어려움이 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 산림훼손이 대규모로 발생하며, 그 훼손정도가 상대적으로 심각한 것으로 알려져 있는 광산 개발사업 사례에 초점을 맞춘다. 강원도 삼척시에서 시행예정인 ○○광구 석회석광산 개발사업의 실제 예를 통해 사업수행 시 비용·편익 분석에서 적용가능한 환경비용 추정방법을 제시한다. 기본적으로 국립산림과학원(2010)의 방법론에 기반하여 산림의 기능별 가치를 추정하되, 몇몇 기능들 경우 개발사업과 사업지역 내 산림의 특수성을 고려하여 조정한다. 본 연구에서 제시하는 방법론은 기존 공익적 기능 관련 연구들과 사업의 경제성 평가 사이의 간극을 일정부분 해소할 수 있을 것이다.

서론에 이어 2장에서는 가상가치평가법과 대체비용법 등이 주로 사용되는 산림의 경제적 가치 평가에 관한 기존 국내 문헌들을 정리한다. 3장에서는 석회석광산 개발사업의 특수성을 고려하여 평가에 포함 또는 제외하는 기능들에 대한 제시하며, 기능별로 환경비용 추정을 위한 방법을 간략히 소개한다. 4장에서는 실제 삼척시 석회석광산 개발사업으로 인해 발

생하는 환경비용을 기능별로 추정한 결과를 제시하며, 마지막 5장 결론에서는 연구의 내용을 종합하고 이로부터 관련한 경제성 평가에서의 시사점들을 제시한다.

II. 선행연구

산림과 같은 환경재 대부분은 공공재 성격을 띠고 있어 시장에서의 가격이 존재하지 않는 경우가 많으며 별도의 추정방법을 통해 그 가치를 산정한다. 국내의 경우 주로 가상가치평가법(Contingent Valuation Method, CVM)과 기능별 계량화 방법이 사용되어 왔다. 대표적인 가상가치평가법을 적용한 연구로는 이경한(2000)과 신영철(2009)을 들 수 있으며, 기능별 계량화 연구로는 곽태원·김홍균(2006), 국립산림과학원(2010)을 들 수 있다.⁴⁾ 이외 방법론으로는 생태계가 제공하는 다양한 상품과 서비스를 종합·평가하기 위해 제안된 밀레니엄생태계평가법(Millennium Ecosystem Assessment, MEA)(구교준 등, 2018)이 있으며, 각각의 기능별로 평가한 연구들 역시 다수 확인된다(예, 강기래, 2010; 김진선 등, 2014; 장진, 2019).

먼저 이경한(2000)은 본 연구의 사례지역과 인접한 삼척시 내에서 진행된 321ha 규모의 광산 개발사업에 대해 투표모형(referendum model)을 활용한 설문을 통해 환경비용을 추정한다. 강원지역 200명과 전주시 300명 등 총 500명을 대상으로 광산개발 사업에 따른 긍정적, 부정적 영향에 대한 정보를 제시한 후 산림보전을 위한 지불의사액을 묻는다. 300ha의 산림에 대한 연간 가구의 지불의사액은 72,828원으로 추정된다. 이를 ha 당으로는 환산할 경우 1,413.3만 원, 그리고 다시 2020년을 기준⁵⁾으로는

4) 해외 역시 국내의 사례와 마찬가지로 산림의 경제적 가치를 추정하기 위해 가상가치평가법(예, Adams et al., 2008; Ramli et al., 2017)이나 기능별 계량화 방법(예, Adger et al., 1995; Mustafa et al., 2010)이 주로 사용된다.

5) 2000년~2020년 기간 소비자물가상승률(157.5%)과 가구수 증가율(129.9%)을 적용하여 환산한 값이다.

4,393.3만 원에 상당한다.

신영철(2009) 역시 동일한 투표모형을 사용하여 전국 성인남녀 1,000명을 대상으로 전국에 분포하는 석회석광산 개발사업의 산림훼손 환경비용을 조사한다. 개발 예정지 보호, 훼손된 생태계 복구, 폐광지를 활용한 대체산업 육성지원, 지역주민 보상지원 등 총 4가지 정책안을 제시한 후 각 안에 대한 지불의사액을 추정·합산하여 이를 환경비용으로 제시한다. 추정된 비용은 연간 가구당 4,361원으로, 전국 가구수와 훼손면적을 고려한 산림 1ha당 환경비용은 연간 2,090만 원에 달한다. 해당 비용은 2020년 기준으로 3,360.7만 원에 상당하며, 연구에서 제시하는 10년의 정책기간과 한국개발연구원(2018)⁶⁾의 할인율을 적용할 경우 ha당 환경비용은 2억 7,823만 원으로 산정된다.

가상가치평가법을 활용한 사례들 외에 국립산림과학원(2010)은 산림의 기능을 11가지로 분류하고 기능마다 방법을 달리하며 각 기능별로 경제적 가치를 추정한다. 주로 대체비용법(Replacement Cost Method, RCM)이 사용되나 휴양 기능에 대해서는 총지출법(Gross Expenditure Method, GEM), 야생동물보호 기능은 대체비용법과 가상가치평가법을 혼용하여 추정한다. 당시인 2008년 기준으로 기능별 평가를 거쳐 합산된 국내 산림의 총 경제적 가치를 약 73.1조 원으로 제시한다. 이후 2010년과 2014년, 2018년 기준을 달리하며 추정액을 발표한 바 있으며, 2018년 기준 추정액은 221.1조 원으로 이를 ha당로 환산할 경우 3,507만 원으로 계산된다.

국립산림과학원과 유사한 기능별 계량화 방법을 통해 곽태원·김홍균(2006) 역시 강원도 횡성군에 위치한 120.2ha 규모의 석회석광산 개발사업의 환경비용을 추정한다. 국립산림과학원과는 달리 해당 광산 개발사업의 특수성을 고려해 일부 기능은 평가에서 제외한다. 예를 들어, 사업지역에 대한 접근성이 낮다는 점을 들어 경관·휴양 기능을 포함하지 않으며, 정수 기능 역시 오염저감시설 설치를 근거로 평가에서 제외한다. 오염 방

6) 한국개발연구원(2018, p.192)은 “공공기관 예타에서 사회적 할인율은 기획재정부에서 제시한 연 4.5%를 동일하게 적용”하도록 제시한다.

지·저감시설 설치·운영비용을 제외한 산림훼손 환경비용의 추정액은 ha 당 1,104만 원으로, 이는 2020년을 기준으로 1,740만 원으로 환산된다.

마지막으로 구교준 등(2018)은 산림의 가치를 평가하는 데 있어 시장가치와 비시장가치를 포괄하는 선행연구가 부족하다는 점에서 착안하여, 산림기능에 대한 중복평가를 방지하고 비시장가치를 포함하는 평가를 위해 밀레니엄생태계평가법(MEA)을 사용한다(Millennium Ecosystem Assessment, 2005). 제시하는 국내 산림의 총 경제적 가치는 2015년 기준 약 136조 원으로, 당시 2014년 기준 국립산림연구원(2010)의 추정액인 126조 원과 유사한 수준임을 확인하였다.

가상가치평가법을 활용한 이경한과 신영철은 2020년 기준으로 ha당 각각 연 4,393.3만 원과 3,360.7만 원을 산림훼손의 환경비용으로 제시한다. 일견 유사한 수치로 볼 수 있지만 이경한의 경우 강릉시, 동해시, 삼척시 등 인접지역의 가구 수에 한정하여 도출한 값으로, 둘 간 정확한 비교를 위해서는 모형에서 추정된 가구의 지불의사액을 살펴볼 필요가 있다. 이경한은 300ha에 대해 가구당 72,828원을 제시하는 반면 신영철은 전국의 광산개발 훼손면적인 1,976ha에 대해 4,361원을 제시하며, 물가상승률을 고려하더라도 두 연구 간 환경비용 차이는 약 14배에 달하며 면적까지 고려할 경우 94배까지 벌어진다. 이러한 결과는 충분히 포함효과(embedding effects)나 전략적 편의(strategic bias)를 의심해볼 수 있는 차이이며, 실제 이경한은 인근 지역민을 대상으로 자연보존기금 신설 등을 통한 사업지역의 산림보전에 대한 의견을 질문한 만큼 전략적 편의가 나타났을 가능성이 크다. 이러한 다양한 편의들이 나타날 수 있는 문제 외에도 가상가치평가법은 각 기능마다의 환경비용을 개별적으로 파악하기에는 어려움이 있어 석회석광산 개발사업과 같은 특정 사업에 적용하기 한계가 있다는 점 역시 지적될 수 있다(곽태원·김홍균, 2006).

한편 기능별 계량화 사례의 경우 시장에서 거래되는 일부 기능들에 대한 가치를 평가하기에는 용이한 반면 대체재를 찾기 어려운 경우 평가가 어렵다는 한계가 있다. 국립산림과학원(2010)은 대체재가 존재하지 않는

일부 기능들에 대해서는 가상가치평가법이나 총지출법을 적용한 바 있으나, 이로 인해 기능별 추정액 비교에서 오류가 발생할 가능성이 있다. 또한 추정방식의 차이로 기능별 추정액 간 비교가 어려우며, 연구자마다 대체재의 선택이 달라 질 수도 있다. 이러한 몇몇 한계에도 불구하고 대체재를 통한 기능별 평가는 추정이 직관적이고 간편하며, 경제성 평가 시 사업마다 반영되어야 하는 기능만을 선별하여 적용할 수 있다는 장점이 있다. 세계식량농업기구 역시 이러한 점을 들어 기능별 계량화 방법을 적용한 사례를 산림 전용에 대한 사업 경제성 평가 메뉴얼의 주된 예로 제시하고 있다(Masiero et al., 2019).

본 연구는 산림의 공익적 기능에 대한 국가 통계작성에 활용되는 국립산림과학원(2010)⁷⁾에서 제시하는 기능별 계량화 방법을 따르되, 해당 개발사업의 특수성과 사업지역 산림의 특수성을 고려하여 산림훼손의 환경비용을 추정한다.

III. 환경비용 추정방법

본 연구에서 사례로 선정한 ○○광구 석회석광산 개발사업은 기존 환경영향평가를 완료한 171.8ha 규모 외에 신규로 편입되는 219.4ha 규모의 산림지역이다. 해당 사업지역은 일부 준보전산지(1.4%)와 기타부지(4.7%)를 제외한 93.9%가 보전산지로 구성되며, 본 연구에서는 이들 신규로 편입되는 219.4ha 규모의 산림지역을 대상으로 환경비용을 추정한다. 특히 사항으로는 사업지역 내 30ha 규모의 생태·자연도 1등급지가 위치하며, 백두대간 지맥 약 1.75km가 사업지역을 관통하도록 계획된다.

7) 국립산림과학원은 본 연구에서 참조하는 국립산림과학원(2010) 외에도 2010년과 2014년, 2018년 기능별 평가액을 발표한 바 있으나 평가액이 도출되는 과정을 확인할 수 있는 공식적인 보고서를 발간하고 있지는 않다. 부득이 가용한 가장 최근 자료인 국립산림과학원(2010)의 방법론을 토대로 환경비용을 추정하며, 본 연구에서 추정한 환경비용은 국립산림과학원의 이후 연구들의 방법을 적용할 경우 차이가 있을 수 있음을 분명히 한다.

먼저 국립산림과학원(2010)이 제시하는 11가지 공익적 기능들 중 광산사업의 특수성과 사업지역의 지리적 특성을 고려하여 평가에 포함될 수 있는 기능들을 조정한다. 우선 곽태원·김홍균(2006)과 마찬가지로 토사유출방지, 산림정수, 토사붕괴방지 기능은 오염 저감·방지시설의 설치로 대체하며,⁸⁾ 산림휴양, 산림치유, 산림경관 기능은 거주지와 멀리 떨어져 있는 지리적 특성을 고려하여 제외한다. 반면 이들과는 달리 산소생산과 생물다양성보전 기능을 평가대상에 포함하며, 최종적으로는 국립산림과학원이 제시하는 기능들 중 수원함양, 온실가스흡수, 대기질개선, 산소생산, 생물다양성보전 등 5가지 기능을 대상으로 각각에 대한 환경비용을 추정한다.⁹⁾

구체적으로 수원함양, 대기질개선, 산소생산 기능은 대체비용법을 적용하며, 생물다양성보전 기능은 대체비용법과 가상가치평가법을 함께 사용한다. 온실가스흡수 기능 평가에 있어서는 이산화탄소 처리비용으로 대체한 국립산림과학원과는 달리 에너지 분야 경제성 평가에 적용되는 탄소배출권 가격을 직접 반영한다. 생물다양성 기능의 경우 국립산림과학원의 방법에 추가하여 사업지역 내 의심되는 멸종위기종의 가치를 포함한다. 추가로 산림의 공익적 기능들 외에 사업진행 시 예상되는 산림훼손과 관련한 비용으로 임산물 생산감소액과 산림 복원비용을 언급할 수 있다. 임산물 생산감소액은 산업연관표 임업부문 부가가치액을 토대로 추정하며, 복원비용은 산림청에서 고시하는 대체산림자원조성비를 기준으로 하되 사업지역 내 위치하는 백두대간 지맥의 가치를 일부 반영한다. 최종적으로 본 연구에서 평가하는 7가지 산림의 기능과 이들 각각에 대한 평가방법은 아래의 <표 1>과 같이 정리된다.

-
- 8) 상당히 강한 가정인 반면, 시설 설치를 통해 얼마만큼 대체할 수 있을지를 현실적으로 확인하기 어려우며, 경제성 평가 시 보수적으로 접근하는 경향을 감안하여 곽태원·김홍균(2006)의 가정을 따른다.
- 9) 평가시기에 따라 국립산림과학원이 집계·발표하는 산림의 공익적 기능에 대한 분류는 변화해왔다. 2008년의 경우 본 연구의 5가지 기능에 외에 산림경관, 산림휴양, 산림치유, 토사유출방지, 토사붕괴방지, 산림정수 등 6가지 기능을 포함한 11가지 기능을 평가한다. 이후 2014년부터는 열섬완화 기능을, 2018년부터는 온실가스흡수 기능 중 하나로 임목·산림토양의 탄소저장 기능을 추가한 바 있다.

〈표 1〉 산림훼손에 따른 환경비용 평가 항목 및 방법

산림 기능		평가 방법
공익적 기능	수원함양	댐 건설·운영비, 수몰지역 토지용역비
	온실가스흡수	탄소배출권 시장가격
	대기질개선	대기오염물질(황산화물, 질소산화물, 미세먼지) 피해비용
	산소생산	액체산소 로리탱크 시장가격
	생물다양성보전	해충방제비용, 수렵편익, 멸종위기종 지불의사액
기타	임산물 생산감소액	임업부문 산업연관표
	산림 복원비용	대체산림자원조성비, 백두대간 복원비용

한편 산림기능의 가치와 복원비용 추정을 위해서는 사업단계별 산림면적과 복원면적에 대한 정보가 요구된다. 사업지역 총 면적 219.4ha 중 26.0%에 해당하는 57.0ha는 녹지지역으로 보전되어 복원작업은 이를 제외한 162.4ha를 대상으로 진행된다. 사업에 앞서 시뮬레이션된 사업단계별 예상되는 산림면적과 복원지역은 아래 〈표 2〉에서 제시된다. 산림면적은 아직 훼손되지 않았거나 복원이 완료된 지역을, 복원면적은 각 사업단계가 종료된 시점을 기준으로 누적된 복원면적을 의미한다. 훼손되는 산림면적은 각 사업단계내에서 매해 동일하게 배분하며, 복원기간은 복원사업이 완료된 이후 5년으로 가정한다.¹⁰⁾ 평가에 사용되는 연도별 훼손 및 복원 면적은 〈부록 표 1〉에서 확인할 수 있다. 산림복원 비용은 연간 복원면적을 기준으로, 수원함양, 온실가스흡수, 산소생산, 대기질개선 비용은 연간 훼손면적을, 그리고 생물다양성보전 비용과 임산물 생산감소액은 전체 사업면적을 기준으로 산정한다.

10) 산림청은 산림생태 복원사업이 완료된 후 일정 기간 사후 모니터링 작업을 실시하며, 모니터링 기간은 3년에서 5년 길게는 10년 이상으로 설정하고 있다(산림청, 2013). 본 연구에서는 광태원·김홍균(2006)과 마찬가지로 복원기간을 5년으로 가정한다.

〈표 2〉 사업단계별 산림면적과 복원면적

사업단계	사업기간	산림면적(㎡)	복원면적(㎡)
1단계	2020년 - 2024년	1,422,***	22,***
2단계	2025년 - 2029년	1,328,***	29,***
3단계	2030년 - 2034년	1,280,***	51,***
4단계	2035년 - 2039년	1,322,***	245,***
5단계	2040년 - 2059년	815,***	1,624,***

IV. 환경비용 추정

1. 수원함양 기능

산림은 우기에 빗물을 흡수하여 강물의 범람을 막는 홍수방지 기능과 갈수기에 저류된 유수를 방출하여 가뭄을 막아주는 갈수를 완화하는 기능을 동시에 수행한다. 이러한 산림의 수원함양 기능을 평가하기 위해서는 산림이 저장하고 있는 물의 양에 관한 정보가 필요하다. 국립산림과학원(2010)은 2008년 기준 국내 산림의 총 저류량을 190.6억 톤으로 제시한 바 있으며, 2008년 기준 총 산림면적 6,975천ha를 적용하여 환산 시 ha당 산림은 연간 2,990.3톤의 물을 저류한다. 수원함양 기능이 산림훼손으로 상실됨에 따라 해당 저류량만큼 물을 저장하기 위해서는 다목적댐의 건설이 필요하다고 가정한다면 수원함양 기능의 경제적 가치는 다목적댐 관련 비용으로 대체할 수 있다. 다목적댐 비용으로는 댐 건설·운영비용과 수몰되는 상류지역의 경제적 가치가 제시된다.

본 연구에서는 가장 최근인 2016년에 준공된 영주댐의 건설비용을 통해 수원함양 기능을 대체하는 댐의 건설·운영비용을 추정한다. 영주댐은 경상북도 영주시에 위치한 다목적댐으로, 총 838,029백만 원의 건설비가 투입되었으며 181.1백만 톤의 물을 저수할 수 있도록 설계되었다(한국개발연구원, 2008). 톤당으로 환산된 건설비는 2008년 기준 4,627원으로, 일반토목시설의 건설공사비지수를 적용하여 환산한 2020년 기준 건설비

는 7,731원으로 계산된다. 아래 식 (1)의 균등화원가식을 통해 톤당 댐 건설비용을 연간 자본비용으로 환산할 수 있으며, 환산에 필요한 할인율과 운영기간은 한국개발연구원(2018)를 참조한다.¹¹⁾ 마찬가지로 한국개발연구원(2018)에 따라 연간 자본비용의 1%를 연간 운영비용으로 산정하며, 이로부터 댐의 연간 자본비용과 운영비용은 각각 391원과 4원으로 계산된다. 1톤의 물을 저류하기 위한 비용은 연간 395원으로 산정되며, 산림 1ha가 연간 2,990.3톤의 물을 저류하므로 댐 건설·운영비용으로 추정되는 산림 1ha당 수원함양 기능의 가치는 118.1만원으로 도출된다.

$$\text{연간 자본비용} = \text{총 건설비} \times \frac{r(1+r)^{n-1}}{((1+r)^n - 1)} \quad (1)$$

다음으로 댐 건설로 토지가 수몰되어 감소하는 농림업의 가치는 논벼 토지용역비와 임야지대를 통해 추정될 수 있다. 토지용역비와 임야지대는 국립산림과학원이 제시하는 비용을 사용하되, 수몰면적 산정에 있어 영주 댐을 대신하여 수몰면적이 확인되는 소양강댐의 수치를 참조한다. 2008년 기준 토지용역비와 임야지대는 ha당 각각 2,422천 원과 844천 원이며, 소양강댐 건설로 인해 수몰된 전답과 임야의 면적은 각각 2,590ha와 2,090ha로 확인된다. 수몰로 인한 농림업 생산감소액은 80.3억 원으로 산정되며, 소양강댐의 계획저수량이 29.0억 톤이므로 물 1톤 저수에 따른 생산감소액을 2.77원으로 추정된다. 산림의 연간 저류량을 반영한 ha당 농림업 생산감소액은 8,287원으로 계산되며, 최근 십년간 농림생산지수의 연평균 상승률 0.58%를 적용할 경우 2020년 기준 산림 1ha의 생산감소액은 8,883원으로 산정된다.

산림훼손에 따른 수원함양 기능의 상실비용은 댐 건설·운영비용과 농림업 생산감소액의 합으로 대체할 수 있으며, 두 비용을 합친 산림 1ha의

11) 한국개발연구원(2018)은 댐 건설의 자본비용 계산을 위해 요구되는 할인율과 운영기간을 각각 4.5%와 50년으로 제시한다. 이어지는 기능별 평가에서 역시 해당 할인율을 적용하여 2020년 기준 현재가치로 환산한다.

연간 수원함양 기능 상실비용은 119.0만 원으로 산정된다. 최종적으로 아래 식 (2)에 <부록 표 1>의 연간 훼손면적을 적용하여 상실되는 수원함양 비용을 현재가치화한다.

$$\text{수원함양 환경비용} = \sum_{t=1}^{40} \frac{\text{ha당 수원함양 기능 상실비용} \times \text{연도별 산림 훼손면적}_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

2. 온실가스흡수 기능

기후변화에관한정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서는 온실가스 배출이 현재 추세로 유지될 경우 평균 기온 3.7℃ 해수면 63cm가 상승할 것으로 전망하며, 2.5℃가 상승할 경우 산업화 이전 대비 연간 총소득의 0.2~2.0%의 손실이 발생할 것으로 보고하고 있다(IPCC, 2015). 기후변화는 경제적 손실 이외에도 폭우·폭설, 대형폭풍 등 기상이변의 원인으로 지목되고 있으며, 이를 위한 해결책 중 하나로 산림을 유지·확장시키는 방안이 제시되고 있다(Doelman et al., 2020).

산림이 흡수하는 이산화탄소량을 통해 온실가스 흡수량을 가늠할 수 있으며,¹²⁾ 이를 기준으로 온실가스흡수 기능의 경제적 가치를 산정하게 된다. 국립산림과학원(2010)은 2008년 기준 이산화탄소 흡수량을 41,330천 톤으로 제시하며 상업적 벌채량 5,147천 톤을 추가하여 산림의 연간 흡수량을 총 46,477천 톤으로 산정한다. 흡수량을 2020년 기준으로 환산하기 위해 산림청(2016)에서 제시하는 2020년 임목축적 전망치를 사용하게 된다. 2008년 임목축적은 659,120천m³이며 2020년 전망치는 1,031,632천m³으로 156.5% 증가한 수치를 나타낸다. 해당 증가율을 적용한 2020년 기준 우리나라 산림의 이산화탄소 흡수량은 72,744천 톤으로 추정할 수 있으

12) 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(N₂O), 메탄(CH₄) 등을 포함하는 기체물질을 총칭하는 말이나 전체 온실가스의 72%는 이산화탄소로 구성된다(Oliver et al., 2017).

며, 산림 1ha당 11.5톤의 이산화탄소를 흡수하는 것으로 계산된다.

한편 온실가스는 시장에서 거래되지 않아왔기 때문에 가상가치평가법이나 대체비용법 등을 통해 간접적으로 그 가치를 추정해왔다. 국립산림과학원 역시 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 온실가스 R&D프로그램에서 추정한 이산화탄소의 흡수·저장비용(Riemer, 1996)을 적용하여 이산화탄소 흡수량에 대한 경제적 가치를 산정한다. 하지만 지난 2015년부터 탄소배출권 거래제가 시행되어 이산화탄소의 시장 가치를 관측할 수 있으며, 탄소배출권의 가격을 직접 사용할 수 있게 되었다. 탄소배출권의 시장가격을 기준하여 온실가스 흡수비용을 산정하되, 가격이 2015년부터 2020년까지 4배 급등한 점과 가격변동이 불규칙한 점을 고려하여 2020년 상반기의 평균가격을 사용한다.¹³⁾ 해당 기간 탄소배출권의 평균가격은 톤당 36,276원으로, 이를 ha당 이산화탄소 흡수량에 곱해 온실가스흡수 기능의 경제적 가치는 추정된다. 산림 1ha의 온실가스 흡수 기능의 가치는 41.9만원으로 산정되며, 최종적으로 앞서 식(2)와 같이 훼손면적을 적용하여 상실되는 온실가스흡수 비용을 추정하게 된다.

3. 산소생산 기능

산림은 이산화탄소를 흡수할 뿐만 아니라 성장하는 과정에서 흡수한 이산화탄소 대비 일정 비율로 산소로 만들어 배출한다. 산림이 생산하는 산소의 양은 이산화탄소와 산소 간의 분자구조식에 따라 결정되며 이는 아래 식 (3)과 같다. 앞서 산정된 이산화탄소 흡수량에 적용할 경우 산림 1ha당 8.4톤의 산소를 생산하는 것으로 계산된다.

13) 배출권 가격에 대한 공식적인(또는 공신력 있는) 전망치는 발표되고 있지 않으며, 상반기 가격 적용에 대해서는 에너지경제연구원 관련 전문가의 의견을 참조하였다.

$$CO_2 = Carbon \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

$$O_2 = Carbon \times \frac{32}{12}$$

$$O_2 = CO_2 \times \frac{32}{44}$$

한편 이산화탄소와 달리 산소의 경우 일반적으로 시장에서 거래되지 않으며 따라서 그 가격을 관찰하기는 쉽지 않다. 앞서 줄어드는 산림의 저류량을 댐 건설을 통해 대체한다는 가정과 마찬가지로 줄어드는 산소의 양만큼을 시장에서 가격이 확인되는 액체산소로 대체하는 것으로 가정한다.¹⁴⁾ 공업용 액체산소의 가격은 2020년 상반기 리터당 450원에 판매되고 있으며, 이를 톤으로 환산할 경우 394,650원에 해당한다. 산림 1ha가 생산하는 산소의 양에 톤당 액체산소 가격을 적용하여 추정된 산소생산기능의 가치는 331.4만 원으로, 앞서 기능들과 마찬가지로 훼손면적을 적용하여 산소생산 비용을 추정한다.

4. 대기질개선 기능

산림을 구성하는 임목은 광합성 과정에서 이산화탄소뿐만 아니라 대기오염물질인 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 미세먼지(PM) 등을 함께 흡수한다. 국립산림과학원(2010)은 Hill(1971)의 연구를 토대로 황산화물과 질소산화물의 흡수계수를, 국립환경과학원(1988)과 Kretinin and Selyanina(2003)의 연구결과를 토대로 미세먼지의 흡수계수를 적용하여 흡수량을 계산한다.¹⁵⁾ 각각의 대기오염물질별 흡수량은 임상별로 다르게 나타나며, 따라서

14) 주요 대기오염물질들과는 달리 산소의 경우 피해함수 등을 통해 직접 비용을 산정하는 연구는 충분히 진행되지 못하고 있다. Li et al.(2018) 역시 본 연구와 유사하게 의료용 산소의 가격으로 대체하고 있다.

15) 국립산림과학원(2010)에서는 침엽수림은 ha당 연간 황산화물 5.79kg, 질소산화물 10.72kg, 미세먼지 5.41kg를, 활엽수림은 황산화물 11.48kg, 질소산화물 21.24kg, 미세먼지 2.38kg를, 그리고 혼효림은 황산화물 9.32kg, 질소산화물 17.25kg를 흡수하는 것으로 제시한다. 혼효림의 미세먼지 흡수량은 침엽수림과 활엽수림의 흡수량

이들 흡수량을 추정하기 위해서는 임상별 산림면적에 대한 정보가 필요하다. 산림청(2016)이 발표한 2015년 기준 임상별 산림면적에 따르면 2010년 대비 2015년 침엽수림과 혼효림은 각각 9.4%와 8.5% 감소하였으며 활엽수림은 18.0% 증가하였다. 이러한 추세가 2020년까지 이어진다는 가정하에 2020년 기준 임상별 산림면적은 침엽수림 2,119,154ha, 활엽수림 2,394,048ha, 혼효림 1,560,876ha로, 이로부터 계산된 황산화물, 질소산화물, 미세먼지의 총 흡수량은 각각 연간 54,300톤, 100,491톤, 23,249톤에 해당된다.

앞서 추정한 이산화탄소나 산소와 달리 황산화물, 질소산화물, 미세먼지는 시장가격이나 대체재를 찾기 어려우며, 따라서 이들 대기오염물질이 발생시키는 피해비용을 산정하여 적용한다. 국내에서는 아직까지 대기오염물질별 피해비용에 관해 합의가 이뤄진 바 없으며, 다수의 관련 연구들에서는 EU의 ExternE 피해비용 추정치를 토대로 국내 여건에 맞게 재산정하고 있다(예, 강광규·김종원, 2012; 노재형, 2013; 심창섭·서지현, 2013). 특히 ExternE의 경우 도시와 시골 지역으로 구분하여 비용을 제시하며, 광산개발과 같이 인구밀집도가 낮은 지역에서 사업이 수행될 경우 시골지역의 수치를 적용하게 된다(Holland and Watkiss, 2002).¹⁶⁾

ExternE의 피해비용에 소비자물가상승률을 적용하여 2020년 기준으로 환산할 경우 대기오염물질별 환경비용은 톤당 황산화물 9.0백만 원, 질소산화물 7.5백만 원, 미세먼지 24.2백만 원으로 산정된다. 각 대기오염물질별로 흡수량과 피해비용을 곱해 계산된 산림 1ha가 제공하는 대기질개선 기능의 가치는 28.3만 원으로, 마찬가지로 산림 훼손면적을 반영한다.

5. 생물다양성보전 기능

산림은 동식물들의 서식지를 제공함과 동시에 생물다양성 보전을 통해 멸종위기종 등을 보호하는 역할을 수행한다. 본 연구는 국립산림과학원

평균값을 사용한다.

16) ExternE에서는 2002년 기준으로 황산화물, 질소산화물, 먼지 각각에 대해 톤당 ₩5,200, ₩4,200, ₩14,000을 시골지역의 환경비용으로 추정한다.

(2010)의 결과에 더해 사업지역 내 서식하는 것으로 의심되는 멸종위기종의 가치를 평가에 포함하며, 이를 위해 장진(2019)의 종다양성 가치평가 결과를 참조한다.

국립산림과학원은 야생조류가 먹이활동을 통해 산림에 악영향을 끼치는 해충을 제거함으로써 얻는 방제비용 절감액과 산림에 서식하는 야생동물을 이용해 수렵장을 설치함으로써 증가하는 개인의 편익을 통해 생물다양성보전 기능의 가치를 추정한다.¹⁷⁾ 먼저 방제비용 절감액은 야생조류로 인한 방제면적과 ha당 방제비용을 통해 산정한다. 방제면적은 야생조류의 연간 곤충 포식량의 10%를 해충으로 간주하여 ha당 20만 마리의 해충이 발생하는 것으로 가정한다. ha당 방제비용은 2008년의 해충방제 실적액과 면적을 통해 산정하며 2008년 기준 약 39.3만원으로 도출된다.¹⁸⁾ 수렵편익의 경우 수렵면허를 위한 입렵료와 수렵이용 지불의사액을 합산하여 산정하며, 이를 전체 산림면적으로 나누어 줄 경우 ha당 872.9원으로 계산된다.¹⁹⁾

한편 사업지역에는 삶, 하늘다람쥐, 담비 등 3종의 멸종위기 야생동물의 서식지가 존재할 가능성이 있으며, 멸종위기종의 서식지는 「자연환경보전법」에 따라 “생태·자연도 1등급 권역”으로 지정된다. 해당 권역의 가치를 별도로 추정하기 위하여 지리산 국립공원의 경제적 가치를 추정한 장진을 참조한다. 장진은 선택실험법(Choice Experiment Method)을 통해 지리산에 서식하는 멸종위기종을 보전하기 위한 지불의사액으로 가구당 144원을 제시한다. 가구원수를 고려한 멸종위기종 1종을 보전함으로써 발생하는 경제적 가치는 약 28억 7,700만 원으로 추정되며, 이를 지리산 국립공원 면적인 41,780ha로 나누어 도출된 산림 1ha당 멸종위기종보호 편익은 68,861원으로 산정된다. 사업지역 내에는 30ha의 1등급지가

17) 국립산림과학원에서는 2010년까지 해당 기능을 야생동물보호 기능으로 명명하여 왔으나, 2014년 이후 하위 분류로 유전자보전 기능을 새롭게 포함하여 생물다양성보전 기능으로 확대·발표하고 있다.

18) 2008년 기준 해충방제 실적액은 89,726백만 원이며, 해충방제 면적은 227,220ha이다.

19) 수렵권 이용자 15,821명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 1인당 지불의사액은 89,670원으로 추정된다.

위치하며 3종의 멸종위기종이 서식할 가능성이 존재하므로, 멸종위기종 서식지 파괴에 따른 비용으로 619만 원이 계산된다.

앞서 추정된 기능들과는 달리 생물다양성보전 기능은 산림의 일부만 훼손되더라도 그 기능은 상실될 가능성이 높다. 사업시행과 함께 서식지 인근이 파괴되며 야생동물들은 서식지를 옮기기 때문이다(이상기 등, 2014; Hailey, 2000). 따라서 방제비용 절감액과 수렵편익 그리고 멸종위기종의 가치는 전체 사업면적을 반영하여 산정되며, 최종적으로 복원이 끝나는 전체 사업기간인 40년에 걸쳐 할인된다.

6. 임산물생산 가치

앞서 언급한 산림의 공익적 기능들 외에도 인간이 산림을 직접 이용함으로써 발생하는 편익 역시 산림훼손으로 인해 상실되게 된다. 산림에서 생산되는 대표적인 시장재로 임산물을 예로 들 수 있으며, 임산물은 그 자체로 시장가치를 가짐과 동시에 원료로서 기능하여 다양한 부가가치를 창출한다. 전체 사업기간 동안 사업지역 내 접근은 제한되며, 기존에 발생 하던 경제적 수익을 기대할 수 없게 된다. 사업개발로 인한 임산물 생산감소액 역시 비용으로 포함되어야 하며, 이는 산업연관표에 기초하여 산정된다.

임산물의 생산가치는 순가치로 측정되므로 가치창출에 기여한 생산요소들에 대한 보수로 배분된다. 따라서 임산물의 부가가치는 임산물의 순가치, 채취에 기여한 노동, 채취에 기여한 자본과 같다고 할 수 있으며, 다시 임산물의 생산가치는 임산물 부가가치에서 피용자보수와 자본소모충당금을 제함으로써 얻을 수 있다(곽태원·김홍균, 2006). 2017년 산업연관표 상의 산림의 총 부가가치는 3조4,356억 원이며, 부가가치 창출에 기여한 피용자보수와 자본소모 충당금은 각각 3,962억 원과 3,243억 원으로 확인된다. 따라서 두 비용을 뺀 임산물 생산가치는 2조7,150억 원이며, 이를 농림생산지수 하위분류 중 임업생산지수를 적용하여 2020년으로 기준으로 환산한다. 최근 십년 기간 임업생산지수의 평균 증가률은 4.39%이

며, 해당 수치를 적용한 임산물 생산가치는 3조880억 원으로 산정된다. 산림 1ha가 제공하는 임산물의 가치는 49.0만 원으로 산정되며, 생물다양성보전 기능과 마찬가지로 전체 사업기간 동안 해당 가치는 상실되는 것으로 가정한다. 상실되는 임산물 생산가치는 1억782만 원으로 추정되며, 해당 비용을 생물다양성보전 기능과 마찬가지로 전체 사업면적에 대해 적용한다.

7. 산림복원 비용

산지 전용에 따라 훼손이 일어날 경우 산림청은 「산지관리법」에 의하여 복원의무를 부여 할 수 있으며 사업자는 복원을 위해 대체산림자원 조성비 납부의무를 부여받는다.²⁰⁾ 대체산림자원조성비는 산지분류에 따라 산정되며 사업면적 219.4ha 중 93.9%는 보전산지로 분류되어 있다. 또한 사업지역 내 17.5km의 백두대간 지맥이 통과하고 있으며 지맥의 폭을 200m로 가정할 경우 지맥의 면적을 35ha로 설정된다. 백두대간 지맥은 「백두대간 보호에 관한 법률」에서 인정하는 보호구역에 해당되지는 않으나 본 연구에서는 해당 법령의 취지를 고려하여 복원비용에 포함한다. 이를 위해 전체 사업면적 219.4ha 중 184.4ha 보전산지와 백두대간 지맥지역 35ha를 구분하여 복원비용을 추정한다.

184.4ha 면적의 보전산지는 산림청에서 고시하는 대체산림자원조성비를 적용하여 평가한다. 2020년 기준 보전산지에 대한 대체산림자원조성비는 ha당 8,210만 원이며, 이를 해당 면적에 적용하여 복원비용을 산정한다. 한편 백두대간 지맥의 가치는 보전산지와 별도로 책정되어야 하므로 추가적인 추정절차가 필요하다. 산림청(2017)은 우수 산림복원사례를 발표한 바 있으며 이 중 “태백시 폐탄광(함태) 복원사업”은 백두대간 내 탄광사업을 복원한 유일한 사례로 본 연구는 해당 복원사업을 참조한다. 폐탄광 복원사업은 1998년 총 23.5억원을 투입하여 20.8ha 면적의 백두

20) 「산지관리법」 제19조(대체산림자원조성비).

대간 보호지역을 복원하였다. 총 사업비 이외에 세부비용이 제시되어있지 않아 산림청에서 고시하는 산지복구비를 기준으로 대체산림자원조성비와의 비율을 적용해 산정한다. 산지복구비는 산지의 경사도에 따라 달리 책정되며, 20~30°경사도의 토석채취 및 광물채굴지의 복구비는 ha당 약 3.4억 원으로 책정되어있다. 산림청은 산지복구비 대비 대체산림자원조성비를 20.8% 수준으로 책정하고 있으며 이를 “태백시 폐탄광(함태) 복원사업”에 적용할 경우 사업비 중 4.9억 원을 산지 복구비용으로 가정할 수 있다. 이를 ha당으로 환산할 경우 2,354만 원, 다시 1998-2020년 기간 대체산림자원조성비 상승률 926%를 적용하여 환산할 경우 2020년 기준 ha당 백두대간 대체산림자원조성비는 2억1,805만 원으로 계산된다.

최종적으로 산정된 산림 복원비용은 ha당 보전산지 8,210만 원과 백두대간 지맥지역 2억1,805만 원이며, 이를 사업지역 내 보전산지와 지맥지역 간 비율을 가중치로 평균비용을 도출한다. 산림복원 비용은 ha당 1억 961만 원으로 산정되며, 이를 아래 식 (4)에 <부록 표 1>의 연간 복원면적을 반영하여 합계한다.

$$\text{산림 복원비용} = \sum_{t=1}^{40} \frac{\text{ha당 산림 복원비용} \times \text{연도별 산림 복원면적}_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

8. 산림훼손에 따른 환경비용 추정액

지금까지 본 연구에서는 “삼척시 ○○광구 석회석광산 개발사업” 사례를 통해 산지 전용²¹⁾에 대한 경제성 평가에서 요구하는 산림훼손의 환경비용 추정의 예를 제시하였다. 광산 개발사업과 사업지역 산림의 특수성을 고려하여 5가지 산림의 공익적 기능을 포함한 7가지 항목에 대한 비용을 계량화하였다. 총 219.4ha 사업지역을 대상으로 40년 기간 수행되는

21) 엄밀한 의미에서 복구할 조건으로 일정기간 산지를 일시 사용하는 광산 개발사업은 산지전용이 아닌 산지일시사용 허가를 받게 되며, 2011년부터 산지전용면적 통계에서도 제외된다.

개발사업의 산림훼손 환경비용은 2020년 기준으로 총 16,836백만 원으로 추정되며, 각각의 기능별 비용은 아래 <표 3>에서 정리된다. 규모로는 산림 복원비용(34.8%), 산소생산(28.3%), 임산물 생산감소액(11.8%), 수원함양(10.2%), 생물다양성보전(9.0%) 등의 순이며, 공익적 기능 상실에 따른 비용은 8,996백만 원으로 절반가량을 차지한다. 이산화탄소 흡수량 대비 일정비율로 단순 계산되어 산소 생산량이 도출됨에도 산소생산 기능의 가치는 온실가스흡수 기능을 포함한 여타 공익적 기능들의 평가액 대비 상당히 높은 금액을 나타낸다. 대체재로 제시하는 액체산소의 가격이 높기 때문에 향후 물 전기분해와 같은 새로운 저렴한 방식이 상용화될 경우 낮아질 수 있다.

한편 <표 3>에서는 본 연구에서 참조하는 국립산림과학원(2010)의 평가방법을 적용하여 2020년 기준으로 환산한 공익적 기능들의 환경비용을 아래에 함께 제시한다. 가장 큰 차이를 보이는 수원함양 기능의 경우 대체재로 제시하는 영주댐의 건설·운영비용이 사분의 일 수준으로 낮아졌기 때문이며, 온실가스 기능의 경우 대체재가 아닌 탄소배출권의 가격을 직접 사용하기 때문에 오히려 평가액은 낮게 추정된다. 대기질개선 기능에서의 차이는 피해비용 추정을 위해 참고한 문헌이 서로 다르기 때문이다. 특히 국립산림과학원의 경우 1990년 기준 추정액을 사용함에도 물가상승률을 반영하지 않아 시골지역의 비용을 적용한 본 연구의 추정액보다도 오히려 낮게 산정된다. 마지막으로 생물다양성보전 기능의 경우 사업지역내 의심되는 멸종위기종의 가치를 추가하였기 때문에 일부 높게 추정된다.²²⁾

<표 3> 기능별 산림훼손 환경비용 추정액

(단위: 백만원)

수원함양	온실가스흡수	산소생산	대기질개선	생물다양성보전	임산물생산감소액	복원비용	합계
1,712 (6,704)	595 (962)	4,768 (4,768)	407 (207)	1,514 (1,400)	1,984 -	5,856 -	16,836 -

주: 괄호 안의 수치는 국립산림과학원(2010)의 산림 기능별 환경비용을 2020년 기준으로 환산한 금액임

22) 가장 최근인 2018년 기준 국립산림과학원의 평가에서는 소폭 증가한 여타 기능들과 달리 온실가스흡수 기능의 경우 평가방법을 전면 개편하며 그 평가액이 2010년 대비 24.7배가 늘어 전체 평가액 중 가장 큰 34.2%를 차지한다.

V. 결론

본 연구는 “삼척시 ○○광구 석회석광산 개발사업”의 사례를 통해 경제성 평가 시 산림훼손의 환경비용을 평가하는 과정을 제시한다. 우선 광산 개발사업과 사업지역 산림의 특수성을 고려하여 평가대상에 포함될 산림의 기능들을 선정하며, 이어 평가액 추정을 위해 사업기간에 걸쳐 연도별 산림면적과 훼손면적, 그리고 복원면적을 산정하였다. 기능별 비용을 평가하는 과정에서도 국립산림과학원(2010)을 참조하되 사업의 특성을 고려하여 일부 조정하거나 새로운 기준을 적용하였다. 예를 들어, 온실가스 흡수 기능 평가 시에는 최근 에너지 분야 경제성 평가에 활용되는 탄소배출권의 시장가격을 적용하였으며, 생물다양성보전 기능의 경우 사업지역 내 서식할 것으로 의심되는 멸종위기종에 대한 가치를 최근의 관련 연구를 참조하여 평가에 포함시켰다. 또한 국립산림과학원과는 별도로 산업연관표를 참조하여 임산물 생산감소액을 추정하였으며, 복원비용의 경우 대체산림조성비로 대체하여 추정하되 백두대간의 가치를 반영하기 위해 시도하였다. 마지막 과정으로, 추정된 기능별 단위면적당 평가액을 각 기능의 성격을 고려하여 훼손면적, 복원면적, 그리고 전체 사업면적에 달리 적용하여 최종 환경비용을 산정하였다. 219.4ha 산림지역을 대상으로 40년 기간 진행되는 해당 석회석광산 개발사업의 최종 산림훼손 환경비용은 2020년 기준으로 약 168.4억 원으로 추정되었다. 기능별로는 산소생산 47.7억 원, 수원함양 17.1억 원, 생물다양성보전 15.1억 원 등 5가지 공익적 기능의 상실 비용으로 90.0억 원, 그리고 나머지 절반 가까이는 산림복원비용과 임산물 생산감소액으로 산정되었다.²³⁾

산림훼손에 따른 환경비용을 추정해가는 과정에서 향후 관련한 경제성 평가 수행에 있어 고려되어야 하는 몇 가지 시사점을 도출할 수 있었다.

23) 본 연구는 실제 개발사업 사례를 통해 경제성 평가 시 산림훼손 비용을 추정하는 과정을 제시하고 이로부터 시사점을 도출하는데 목적을 둔다. 자료 접근의 한계로 평가항목이나 기준단위의 선정에 있어 상당한 제약이 있었으며, 본 연구에서의 추정액은 이후 추가적인 자료 확보를 통해 조정될 수 있음을 분명히 한다.

우선 산림의 훼손은 개발유형에 따라 다양한 방식으로 진행되며, 따라서 사업마다의 특성을 적절히 반영하기 위해서는 기능별 계량화 방법을 적용하는 것이 합리적일 수 있다.²⁴⁾ 가상가치평가법의 경우 물론 적용의 범용성이나 존재가치를 포함하는 등의 다양한 장점을 가지며 경제학적으로도 보다 타당한 접근방법일 수 있다. 하지만 사업마다의 세세한 특성들을 반영할 수 있는 설문을 구성하기는 한계가 있으며, 특히 일반 국민들이 접하기 어려운 사업들의 경우 설문의 과정에서 편의가 발생할 가능성이 크다. 다음으로, 기능별 계량화 방법을 통해 평가를 진행할 경우에도 산림 기능마다의 평가기준에 대한 논의와 합의가 필요할 것이다. 특히 산림의 공익적 기능들의 경우 시장에서 거래되지 않으며 상당수는 대체비용법을 통해 평가가 이루어진다. 어떤 대체재를 선정하느냐에 따라 평가액은 크게 달리질 수 있으며, 본 연구에서 역시 수원함양 기능 평가에 있어 대체되는 댐을 달리 가정하였으며 그 결과 국립산림과학원 대비 평가액은 사분의 일 수준으로 떨어졌다. 마지막으로, 일관성 있는 경제성 평가를 위해서는 기능별 평가기준에 대한 검토와 함께 평가한 결과물에 대해서도 충실히 공개하고 이를 검토하는 과정이 병행되어야 할 것이다. 본 연구의 경우 자료 접근의 한계로 2010년 수행된 국립산림과학원의 보고서를 참조하여 연구를 진행하였다. 반면, 이후에도 세 차례에 걸친 추가 연구결과가 발표되었으며 이 과정을 거치며 전체 평가액은 세배 이상 증가하였다. 산림의 기능을 평가하고 그 가치를 국민들에게 충실히 전달·홍보하는 것도 반드시 필요한 사안인 반면, 산지 전용에 앞서 수행되는 경제성 평가의 현장에서 연구의 성과를 적극 활용하기 위해서는 상세한 평가 방법과 과정에 대한 공개가 선행되어야 할 것이다.

24) 예를 들어, Tovilla Hernández et al.(2001)은 멕시코 남부지역에서 진행되는 망그로 브숲 벌목사업의 경제적 비용으로 산림의 해안보전 기능을 평가에 포함하며, Masiero et al.(2019)은 방글라데시에서의 해안가 산림조성 사업의 편익으로 태풍피해방지 기능을 평가한다.

■ 참고문헌 ■

- 강광규·김종원, 2012, 『영흥화력, 7,8호기 증설 환경영향 및 경제성 분석』, (정책보고서; 2012-17), 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 강기래, 2010, “자연휴양림 보존가치 측정을 위한 조건부가치측정법 (CVM) 추정액 비교,” 『한국조경학회지』, 38(2), pp.25-36.
- 곽태원·김홍균, 2006, “석회석광산 개발사업의 비용-편익분석,” 『자원·환경경제연구』, 15(4), pp.713-740.
- 구교준·박상수·김범수·이충기·조동혁·박일주, 2018, “산림의 총 경제적 편익 추정에 관한 연구,” 『한국정책학회보』, 27(3), pp.161-179.
- 국립산림과학원, 2010, 『산림의 공익기능 계량화 연구』, (연구보고; 제10-26호), 서울: 국립산림과학원.
- _____, 2020.4.1., “아낌없이 주는 숲, 우리 산림의 공익적 가치 221조원,” 보도 자료.
- 국립환경과학원, 1988, 『생물의 환경오염 정화능에 관한 연구(II): 침엽수 대기오염 정화능에 관한 연구』, 서울: 국립환경과학원.
- 김진선·김의경·김동현·신혜진, 2014, “장성 치유의숲의 산림치유기능에 대한 가치평가,” 『Journal of the Korean Physical Society』, 103(3), pp.453-461, DOI: 10.14578/jkfs.2014.103.3.453.
- 노재형, 2013, 『석탄화력과 가스복합화력 정책방향 설정을 위한 해외사례 조사 및 발전원가 산정에 관한 연구』, 과천: 지식경제부.
- 산림청, 2013, 『산림생태복원 사례집』, 대전: 산림청.
- _____, 2016, 『산림기본통계』, 대전: 산림청.
- _____, 2017, 『산림생태복원 활성화를 위한 제도개선 연구』, 대전: 산림청.
- 산지관리법, 2021, 법률 제18263호, 제19조(대체산림자원조성비).
- 신영철, 2009, “석회석 광산에 의한 산림 피해의 비용 추정: 동해시, 삼척시, 영월군을 중심으로,” 『자원·환경경제연구』, 18(3), pp.431-455.
- 심창섭·서지현, 2013, 『동북아 대기오염 전망을 고려한 국내 석탄화력발전 증설의 대기질 영향분석』, (정책보고서; 2013-14), 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 유승훈·이주석·곽소운·어승섭, 2011, “폐광산 광해방지사업의 공익적 가치 추정,” 『한국지구시스템공학회지』, 48(2), pp.127-136.
- 유재심·최원태·이상혁·최재용, 2016, “산지개발의 공간분포와 산림훼손,” 『Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology』, 19(6), pp.101-109.
- 이경한, 2000, 『광산개발에 따른 비용과 편익분석』, (KIGAM보고서), 대전: 한국자원연구소.
- 이상기·김남춘·신지훈, 2014, “개발지역의 서식지 훼손에 따른 백로류 종별 개체군 변

- 화,” 『한국환경복원기술학회지』, 17(1), pp.147-162, DOI: 10.13087/kosert.2014.17.1.147.
- 장진, 2019, “선택실험법을 이용한 지리산국립공원의 생태계서비스 가치평가: 종다양성 가치를 중심으로,” 『한국산림휴양학회지』, 23(2), pp.49-57, DOI: 10.34272/forest.2019.23.2.005.
- 한국개발연구원, 2002, 『교통부문사업 예비타당성조사의 환경비용추정 연구』, 서울: 한국개발연구원 공공투자관리센터.
- _____, 2008, 『2008년도 타당성 재조사 보고서-송리원 다목적댐 건설사업』, 서울: 한국개발연구원.
- _____, 2018, 『공기업·준정부기관 사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제2판)』, 서울: 한국개발연구원.
- 환경영향평가법, 2021, 법률 제18432호, 제9조(전략환경영향평가의 대상).
- Adams, C., R. S. da Motta, R. A. Ortiz, J. Reid, C. E. Aznar, and P. A. de Almeida Sinisgalli, 2008, “The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: Economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, São Paulo State (Brazil),” *Ecological Economics*, 66(2-3), pp.359-370, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.09.008.
- Adger, W. N., K. Brown, R. Cervigni, and D. Moran, 1995, “Total economic value of forests in Mexico,” *Ambio*, pp.286-296.
- Bader, A. and C. Riegret, 2011, “Interdisciplinarity in 19th and early 20th century: Reflections on ecosystem services of forest,” *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, 3(1), pp.87-98.
- Doelman, J. C., E. Stehfest, D. P. van Vuuren, A. Tabeau, A. F. Hof, and M. C. Braakhekke et al., 2020, “Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs,” *Global Change Biology*, 26(3), pp.1576-1591, DOI: 10.1111/gcb.14887.
- Hailey, A., 2000, “The effects of fire and mechanical habitat destruction on survival of the tortoise *Testudo hermanni* in northern Greece,” *Biological Conservation*, 92(3), pp.321-333, DOI: 10.1016/S0006-3207(99)00099-3.
- Hill, A. C., 1971, “Vegetation: A sink for atmospheric pollutants,” *Journal of the Air Pollution Control Association*, 21(6), pp.341-346, DOI: 10.1080/00022470.1971.10469535.
- Holland, M. and P. Watkiss, 2002, *Benefits table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe*, (BeTaVersion E1. 02a), OXon: NETCEN.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC), 2015, 『기후변화 2014 종합보고서』

정책결정자를 위한 요약보고서』, 서울: 기상청.

- Kretinin, V. M. and Z. M. Selyanina, 2003, "Dust retention by tree and shrub leaves and its accumulation in light chestnut soils under forest shelterbelts," *Eurasian Soil Science*, 39(3), pp.334-338, DOI: 10.1134/S1064229306030136.
- Li, T., Q. Zhang, and Y. Zhang, 2018, "Modeling a compensation standard for a regional forest ecosystem: A case study in Yanqing district, Beijing, China," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 565, DOI: 10.3390/ijerph15040565.
- Masiero, M., D. Pettenella, M. Boscolo, S. Kanti Barua, I. Animon, and R. Matta, 2019, *Valuing forest ecosystem services: A training manual for planners and project developers*, Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- Masson-Delmotte, V., P., Zhai, H.O., Pörtner, D., Roberts, J. Skea, and P.R. Shukla et al, 2018, *Special Report on Global Warming of 1.5°C*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, *Ecosystems and human well-being: Synthesis*, Washington, DC.: Island Press.
- Mustafa F. T., Ö. Atakan, and M. Pak, 2010, "Total economic value of forest resources in Turkey," *African Journal of Agricultural Research*, 5(15), pp.1908-1916.
- Nielsen, A. B., S. B. Olsen, and T. Lundhede, 2007, "An economic valuation of the recreational benefits associated with nature-based forest management practices," *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), pp.63-71, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2006.06.003.
- Olivier, J. G., K. M., Schure, and A. H. W. Peters, J. 2017, *Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Ramli, F., Z. Samdin, and A. Ghani, 2017, "Willingness to pay for conservation fee using contingent valuation method: The case of Matang Mangrove Forest Reserve, Perak, Malaysia," *Malaysian Forester*, 80(1), pp.99-110.
- Riemer, P., 1996, "Greenhouse gas mitigation technologies, an overview of the CO₂ capture, storage and future activities of the IEA greenhouse gas R&D programme," *Energy Conversion and Management*, 37(6-8), pp.665-670, DOI: 0.1016/0196-8904(95)00237-5.
- Schaafsma, M., S. Morse-Jones, P. Posen, R. D. Swetnam, A. Balmford, and I. J.

- Bateman et al., 2014, "The importance of local forest benefits: Economic valuation of non-timber forest products in the Eastern Arc Mountains in Tanzania," *Global Environmental Change*, 24, pp.295-305, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.08.018.
- Tovilla Hernández, C., G. de la Lanza Espino, and D. E. Orihuela Belmonte, 2001, "Impact of logging on a mangrove swamp in South Mexico: Cost/benefit analysis," *Revista de Biología Tropical*, 49(2), pp.571-580
- Tyrväinen, L. and H. Vänänäen, 2001, "Economic valuation of urban forest benefits in Finland," *Journal of environmental management*, 62(1), pp.75-92, DOI: 10.1006/jema.2001.0421.

〈부록 표 1〉 사업기간 연도별 훼손면적 및 연간 복원면적

(단위: m²)

사업단계	연차	연도	산림면적	복원면적	훼손면적	연간 복원면적	
1단계	1	2020	2,039,***	4,***	154,***	4,***	
	2	2021	1,885,***	8,***	308,***	4,***	
	3	2022	1,731,***	13,***	462,***	4,***	
	4	2023	1,576,***	17,***	617,***	4,***	
	5	2024	1,422,***	22,***	771,***	4,***	
2단계	6	2025	1,403,***	23,***	790,***	1,***	
	7	2026	1,385,***	25,***	809,***	1,***	
	8	2027	1,366,***	26,***	827,***	1,***	
	9	2028	1,347,***	28,***	846,***	1,***	
	10	2029	1,328,***	29,***	865,***	1,***	
3단계	11	2030	1,319,***	33,***	874,***	4,***	
	12	2031	1,309,***	38,***	884,***	4,***	
	13	2032	1,300,***	42,***	894,***	4,***	
	14	2033	1,290,***	46,***	903,***	4,***	
	15	2034	1,280,***	51,***	913,***	4,***	
4단계	16	2035	1,289,***	89,***	904,***	38,***	
	17	2036	1,297,***	128,***	896,***	38,***	
	18	2037	1,305,***	167,***	888,***	38,***	
	19	2038	1,313,***	206,***	880,***	38,***	
	20	2039	1,322,***	245,***	871,***	38,***	
5단계	채광	21	2040	1,258,***	336,***	935,***	91,***
		22	2041	1,195,***	428,***	998,***	91,***
		23	2042	1,131,***	520,***	1,062,***	91,***
		24	2043	1,068,***	612,***	1,125,***	91,***
		25	2044	1,005,***	704,***	1,188,***	91,***
		26	2045	941,***	796,***	1,252,***	91,***
		27	2046	878,***	888,***	1,315,***	91,***
	28	2047	815,***	980,***	1,379,***	91,***	
	잔광	29	2048	929,***	1,072,***	1,264,***	91,***
		30	2049	1,044,***	1,164,***	1,149,***	91,***
31		2050	1,159,***	1,256,***	1,034,***	91,***	
32		2051	1,274,***	1,348,***	919,***	91,***	
33		2052	1,389,***	1,440,***	804,***	91,***	
34		2053	1,504,***	1,532,***	689,***	91,***	
35		2054	1,619,***	1,624,***	574,***	91,***	

복원	36	2055	1,734,***	0	459,***	0
	37	2056	1,849,***	0	344,***	0
	38	2057	1,964,***	0	229,***	0
	39	2058	2,079,***	0	114,***	0
	40	2059	2,194,***	0	0	0

이혁중: 선문대학교 국제경제통상학 대학원과정에서 석사학위를 취득하고 현재 글로벌 지속가능발전경제연구소에 재직 중이다. 응용경제학을 기반으로 환경문제를 해결하기 위한 실증연구를 수행하고 있다(chgr2035@sunmoon.ac.kr).

김윤경: 이화여자대학교 경제학과에서 학사와 석사를, 일본 Keio University 경제학연구과에서 박사학위를 취득하였다. 자원 개발, 전원 믹스, 에너지세제, 에너지산업의 파급 효과 등에 관한 연구를 수행하고 있다(yoonkkim@ewha.ac.kr).

윤태연: 서울대학교에서 학사와 석사를, 미국 코네티컷 주립대학교에서 박사학위를 취득하였다. 미세먼지, 녹조 등 환경 관련 주제와 전기요금, 에너지복지 등 에너지 관련 주제에 관한 연구를 수행하고 있다(tay07001@sunmoon.ac.kr).

투 고 일: 2021년 11월 24일
 심 사 일: 2021년 12월 03일
 게재확정일: 2022년 01월 22일