

국유림 산림경영의 사회·경제적 타당성 평가

조장환¹ · 구자춘^{2*}

¹원광대학교 산림조경학과, ²한국농촌경제연구원 산림경제연구소

Socio-Economic Feasibility Assessment of National Forest Management

Jang-Hwan Jo¹ and Ja-Choon Koo^{2*}

¹Department of Forest Sciences and Landscape Architecture, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

²Office of Forest Economic Research, Korea Rural Economic Institute, Naju 58217, Korea

요약: 본 연구는 국유림 산림경영의 사회·경제적 타당성을 두 가지 평가 관점에서 비교하였다. 첫째는 목재 수익과 임내 시업비만을 반영하는 재무적 관점(옵션 A)이며, 둘째는 산림의 공익가치 총액(연 259조 원)을 ha당 연금형 편익으로 전환하여 반영하는 사회후생 관점(옵션 B)이다. 분석은 낙엽송 1 ha 표준 임분을 대상으로 50년 경영기간 동안 할인율 1~3% 조건에서 수행되었으며, 비용은 2023년 산림자원분야 사업계획의 표준단가를, 목재 수익은 국산재 원목시장가격을 적용하였다. 공익편익은 생태적 시차를 고려하여 조성 후 20년 이후부터 발생하는 것으로 가정하였다. 분석 결과, 옵션 A에서는 모든 할인율에서 NPV가 -27,295 ~ -26,926천 원/ha로 음(-)의 값을 보였으며, B/C 비율도 0.14~0.30으로 나타나 재무적 경제성이 확보되지 않았다. 내부수익률(IRR) 역시 -3.76%로 산정되어, 목재판매수익만을 고려할 경우 장기 경영에서도 재무적 유인이 매우 부족함을 나타냈다. 반면 옵션 B에서는 공익편익을 반영함에 따라 NPV가 326,796~696,411천 원/ha로 크게 양(+)의 값을 나타냈으며, B/C 비율은 11.32~19.03, IRR은 약 11.56%로 나타나 할인율 변화에도 높은 사회후생적 경제성이 유지되었다. 민감도 분석(할인율 1~3%)에서도 두 옵션의 부호와 규모 차이는 일관되게 유지되어, 공익편익이 산림경영의 경제성 판단을 결정하는 핵심 요인이 확인되었다. 본 연구는 산림의 공익가치를 계량화하여 국유림 경영의 사회후생적 타당성을 평가하는 분석틀을 제시하였으며, 국유림 경영이 시장재 중심의 재무적 관점에서는 비경제적이나 공익가치를 포함할 경우 높은 사회적 순편익을 창출함을 실증적으로 보여준다. 이러한 결과는 산림정책에서 공익기능의 제도적 인정, 임도의 공익 인프라적 성격 반영, 장기 인센티브 구조 강화 필요성 등 정책적 시사점을 제공한다.

Abstract: This study evaluates the socio-economic feasibility of national forest management in South Korea from two distinct perspectives. The first (Option A) employs a financial approach that only considers timber revenues and in-stand management costs. The second (Option B) adopts a social welfare perspective by converting the national forest's public value (KRW 259 trillion per year) into a per-hectare annuity-based benefit. Analyses were conducted for a standard 1-ha larch stand over a 50-year management horizon, using discount rates of 1%-3%. Cost estimates were drawn from the 2023 National Forest Management Plan, while timber revenues were calculated based on domestic roundwood market prices. Additionally, public benefits were assumed to materialize after year 20 to reflect ecological time lags. The results indicate that Option A yields negative net present values (NPVs) of -27.29 to -26.93 million KRW/ha across all discount rates, with benefit-cost (B/C) ratios of 0.14-0.30 and an internal rate of return (IRR) of -3.76%, demonstrating that timber revenues alone do not support financial feasibility. In contrast, Option B, which incorporates public benefits, produces substantial positive NPVs of 326.80-696.41 million KRW/ha, B/C ratios of 11.32~19.03, and a stable IRR of approximately 11.56%, highlighting strong socio-economic viability, even under varying discount rates. Meanwhile, the sensitivity analyses across the 1%-3% range confirm the robustness of these findings, emphasizing that public benefits are the decisive factor in determining the economic feasibility of national forest management. Overall, this study provides a quantitative framework for integrating forest public values into feasibility assessments and empirically demonstrates that while national forest management is financially

* Corresponding author

E-mail: osmanthusfvam007@wku.ac.kr, selenium78@krei.re.kr

ORCID

Jang-Hwan Jo  <https://orcid.org/0000-0001-6069-4129>

Ja-Choon Koo  <https://orcid.org/0000-0003-3309-4296>

unprofitable when solely based on timber production, it generates considerable net social benefits when ecosystem services are included. These findings underscore the importance of formally recognizing public-benefit production in forest policy, accounting for the public-infrastructure role of forest roads and enhancing long-term incentive mechanisms in national forest management.

Key words: national forest management, socio-economic feasibility, cost-benefit analysis, public goods valuation, sustainable forest management

서 론

세계적으로 산림경영은 단순한 목재생산을 넘어, 탄소흡수, 수자원함양, 생물다양성 증진 등 다양한 공익적 가치를 창출하는 활동으로 자리매김해왔다. 특히 독일, 오스트리아, 일본, 미국, 캐나다 등은 숲가꾸기 정책을 국가 산림정책의 핵심으로 삼으며, 지속가능한 산림경영(Sustainable Forest Management, SFM)의 구체적 사례를 축적하였다. 예를들어, 독일과 오스트리아는 19세기부터 다기능 산림경영(Multifunctional Forestry)을 제도화하여 목재와 더불어 수자원, 레크리에이션, 생물다양성을 균형적으로 관리해왔으며(Voigt et al., 2024; Scherpenhuijzen et al., 2025), 일본은 1950년대 이후 「치수·치산 일체적 관리」를 통해 산림경영의 공익적 기능을 강조하였다(Sugimura & Howard, 2008; Takahashi et al., 2021). 또한, 미국과 캐나다는 국유림 관리에서 탄소상쇄(carbon offset), 수계관리(watershed management), 생물다양성 보전(biodiversity conservation) 등을 정책적 우선순위로 반영해 왔다(Stein et al., 2007; Kurz et al., 2008). 이러한 국제적 흐름은 1992년 브라질 리우에서 개최된 「환경과 개발에 관한 세계 정상회의(UN Conference on Environment and Development, UNCED)」를 계기로 전 세계적 합의로 공식화되었으며, 이때 채택된 「산림원칙(Forest Principles)」과 「의제 21(Agenda 21)」은 목재생산을 넘어 다양한 생태계서비스(ecosystem services)를 포함하는 지속가능한 산림경영(SFM)의 필요성을 강조하였다(United Nations, 1992a; 1992b).

우리나라도 이러한 국제적 흐름 속에서 1961년 「산림법」 제정을 시작으로 1990년대 이후 법 개정을 통해 공익적 가치 개념을 점진적으로 제도화해 왔다. 현재 「국유림의 경영 및 관리에 관한 법률」은 제1조에서 국유림의 기능 증진과 효율적 관리를 통해 국가의 경제발전과 국민의 복지증진을 도모함을 목적으로 하고, 제3조에서 「자연친화적 국유림 육성을 통한 산림의 공익기능 증진」 및 「국유림의 국민이용 증진을 통한 삶의 질 향상」을 기본원칙으로 제시한다. 즉, 법률 차원에서도 국유림 산림경영은 단순한 경제적 수익 창출을 넘어 사회 전체의 공익적 기여를 전제로 설계된 정책임을 확인할 수 있다.

그럼에도 불구하고 국내에서 수행된 선행연구들은 국유림

산림경영의 경제성 평가에 있어 전반적으로 목재 수익과 경영 비용을 정태적으로 비교하는 재무적 관점에 집중해 왔다. 초기 연구들은 사유림 및 조림수종을 대상으로 수종 및 모델별 재무수익률을 산정한 결과, 대부분의 내부수익률(IRR)이 사회적 할인율(4.5~5.5%) 이하로 나타난다고 보고하였다(Seok et al., 2000; Kim et al., 2006; Lee et al., 2007; KFS, 2009; Bae et al., 2011; KDI, 2008; MOEF, 2019). 하지만 이 연구들은 보조금을 비용에 전액 반영하거나, 임도시설비를 목재생산 비용으로만 귀속시키는 방식, 혹은 조립비와 육림비를 실제 투입비용에서 제외하는 방식 등을 사용함으로써, 현실과 괴리된 비용 구조를 설정했다는 한계가 있다. 또한 편익 측면에서는 편익을 목재가격으로 한정하거나, 이전 축적된 임목을 편익에 포함하여 과대평가 결과를 야기하는 경우도 존재하였다(Jeong and Choi, 2018; Min, 2019; NIFoS, 2021; Hong and An, 2025). 목재 수익이 발생하는 특정 연도의 편익만을 산정할 경우, 그 시점 이전까지 산림이 성장하며 축적해 온 시간적 흐름과 가치 형성의 궤적이 평가에서 사라져, 산림경영의 본질적인 과정과 공익적 기여가 제대로 반영되지 않는 문제가 발생한다. 이는 대부분의 선행연구에서도 충분히 고려되지 못한 지점이며, 자원경제학에서 가장 핵심적인 요소인 「시간」을 배제한 분석이라는 점에서 개선이 필요하다. 또한 산림경영을 여전히 목재생산 중심의 경제사업으로 간주하는 협의적 평가들에 기반해 있으며, 결과적으로 국유림의 다목적 기능, 생태적 시차, 임도의 공익적·다목적 인프라 역할이 배제된 상태에서 경제성을 과소평가하는 방향으로 작용할 가능성이 있다. 경제성 평가에서 편익은 포기된 가치의 최대값을 반영해야 한다는 경제학적 원칙(기회비용)이 중요 한데(Samuelson & Nordhaus, 2010), 기존 연구들은 국유림이 창출하는 다양한 공익기능과 사회적 후생 효과를 충분히 고려하지 못하였다(NIFoS, 2021). 이러한 점에서, 국유림 경영의 근본적 목적과 공익적 편익을 체계적으로 반영한 확장된 분석들에 기반한 평가가 필요함이 확인된다.

이러한 한계를 보완하기 위해서는, 산림경영 활동 자체를 서로 다르게 가정하는 것이 아니라 동일한 산림경영 시업을 전제로 하되, 어떤 편익을 포함하여 계정을 구성하는지를 명확히 구분하는 접근이 요구된다. 다시 말해, 사적 관점에서는 목재판매수익에 한정된 편익을 기준으로 평가하되, 사회후생

관점에서는 동일한 사업을 통해 발생하는 공익편익을 추가적으로 포함하여 평가할 필요가 있다. 본 연구에서 설정하는 옵션 A(목재수익 계정)와 옵션 B(공익 계정)는 이러한 문제 의식을 바탕으로, 사업체계와 비용 구조는 동일하게 유지하되 편익의 범위만을 달리하는 두 개의 평가 계정으로 이해된다. 이는 국유림의 정상적인 경영이 목재생산 기능과 공익기능을 동시에 수행한다는 점을 전제로, 평가 범위의 차이가 사업체계의 차이로 오인되지 않도록 하기 위함이다.

이상의 선행연구를 종합하면, 비용·편익 분석은 단일 지표의 비교를 넘어 시간·범위·산림 유형(국유림/사유림), 분석 목적(목재생산/공익기능), 자료의 공신성을 함께 고려할 때에만 타당성과 설득력을 확보할 수 있다. 동일한 사업이라도 분석 시점과 기간에 따라 결과가 달라질 수 있으며, 국유림과 사유림은 비용 구조와 편익의 성격이 다르고, 분석 목적이 목재생산에 있는지 공익기능 증진에 있는지에 따라 편익의 정의 자체가 달라진다. 또한 편익과 비용의 산정은 공신력 있는 공식 자료에 근거해야 하며, 개별 산주 수준의 직접 효과에 한정할지 지역사회·국가 단위의 간접 효과까지 포함할지도 명확히 설정해야 한다. 특히 우리나라에서 산정된 산림의 공익가치 총액(연 259조 원)은 탄소흡수, 수자원함양, 대기질 개선, 경관·휴양 등 비시장적 기능을 중심으로 평가한 값으로, 목재판매수익은 이 공익가치 총액에 포함되어 있지 않다. 따라서 공익가치를 활용하여 사회후생 관점에서 경제성을 평가할 때에도, 필요하다면 동일한 경영주기에서 발생하는 목재생산 편익을 별도로 포함하더라도 공익편익과의 중복 계상 문제는 발생하지 않는다.

이러한 전제 위에서 보면, 산림경영에 대한 국가의 재정 지원(보조금)은 일반적으로 목재 생산을 직접 지원하는 수단 이라기보다 산림의 공익적 기능 증진을 위한 정책적 장치로 해석하는 것이 타당하다. 만약 특정 목재 생산자에게 직접 이익을 보전해 주는 방식의 생산보조가 제공되면, 이는 세계 무역기구(WTO)의 국제 규범인 「보조금 및 상계조치에 관한 협정(Agreement on Subsidies and Countervailing Measures, ASCM)」에서 규정한 보조금 요건에 해당하고, 특정 대상을 지원하는 특정성까지 충족하게 된다. 이런 경우 다른 국가가 상계관세를 부과하거나 분쟁을 제기할 수 있어 제재 위험이 발생하게 된다.

국내에서도 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」은 산림이 국토의 많은 부분을 이루는 귀중한 자산임을 전제로, 사회·경제·문화 등 여러 분야에서 그 기능이 가장 조화롭고 알맞게 발휘되도록 경영·관리되어야 한다는 점을 기본이념으로 제시하고 있다(제1조의2). 이는 산림의 다양한 기능, 특히 공익기능을 균형 있게 증진하는 것을 국가 시책의 핵심 목표로 삼고 있음을 의미한다. 이러한 기본이념을 실제 정책으로 구현

하기 위해, 제2조의2는 국가와 지방자치단체가 산림의 경영·관리에 관한 시책을 수립·시행하여야 하며, 산림소유자는 그 시책에 협력하여야 한다고 규정한다. 즉, 공익기능 증진을 지향하는 방향으로 국가가 산림정책을 설계·추진하고, 산주는 이에 협력하는 구조가 법률 차원에서 제도화되어 있는 것이다.

아울러 제2조제3호는 산림의 기능을 유지·발전 또는 회복시키기 위한 활동을 ‘산림사업’으로 정의하고 있으며, 이는 공익기능 증진을 위한 경영·관리 활동이 모두 산림사업의 범주에 포함됨을 의미한다. 또한 법률 제64조와 시행령 제68조는 이러한 산림사업에 대하여 국가와 지방자치단체가 사업비의 전부 또는 일부를 보조하거나 융자할 수 있는 근거를 제시하고 있으며, 숲가꾸기, 산림복원, 산림관리 기반시설 조성 등 공익기능과 직접 연관된 여러 사업들이 보조·융자 대상 사업으로 구체적으로 명시되어 있다. 따라서 산림의 공익기능 증진은 개별 조항에 산발적으로 흩어져 있는 것이 아니라, 법률의 기본이념(제1조의2)을 중심으로 국가 시책의 방향(제2조의2), 공익 관련 활동의 사업 범주화(제2조제3호), 그리고 이를 지원하는 재정적 근거(제64조 및 시행령 제68조)로 유기적으로 구성되어 있다. 이는 산주가 국가의 산림정책에 협력하는 활동이 곧 산림의 공익기능 증진과 직결되며, 이에 대한 정책적 지원의 정당성이 법률 체계 전반에서 확보되고 있음을 보여준다.

이처럼 산림의 경영과 관리에 소요되는 비용에 대한 보조는 산림의 공익적 기능을 향상시키기 위한 활동을 지원하는 방향으로 설계되어 있으며, 이는 국제통상 규범과의 정합성도 충분히 고려한 구조이다. 따라서 순수한 목재생산의 경제성을 평가할 때에는 이러한 공익활동 지원 보조금을 생산비용에서 제외하는 것이 타당하다. 반대로 보조금을 분석에 포함시키는 경우라면, 해당 보조금이 생산보조가 아니라 공익기능 향상에 대한 보상이라는 제도적 성격을 반영하여 목재 수익이 아니라 공익적 편익을 중심으로 평가하는 접근이 일관된다. 나아가 국유림의 정상적인 산림경영은 목재생산과 공익기능 증진이 동시에 이루어지는 과정을 의미하므로, 동일한 숲가꾸기 활동을 전제로 하되 분석 관점에 따라 편익의 범위를 어떻게 설정하는지가 경제성 평가의 핵심 쟁점이라 할 수 있다.

이에 본 연구는 기존 산림경영 경제성 분석에서 목재수익-비용 단순 비교가 지닌 한계를 보완하고자, (1) 목재생산 중심의 재무적 관점과 (2) 산림의 공익적 가치를 반영한 사회후생 관점을 동일한 사업체계와 비용 구조를 전제로 하되 편익의 범위만 달리하는 두가지 평가옵션(옵션A: 목재 중심, 옵션B: 공익 중심)으로 설정하여 비교 및 검증하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 국유림 산림경영의 사회·경제적 타당성을 체계적으로 평가하고, 향후 지속가능한 산림경영 정책 방향 설정에 기여할 수 있는 실증적 근거를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 분석의 가정

1) 분석 구조

본 연구는 국유림 산림경영의 사회경제적 타당성을 평가하기 위해, 동일한 산림경영 활동을 기반으로 하되 편익의 범위를 달리하는 두 가지 평가옵션인 옵션 A(목재 중심)와 옵션 B(공익 중심)를 설정하였다. 두 옵션은 모두 조림-육림-수확에 이르는 동일한 사업체계와 비용 구조를 가지지만, 편익 항목을 달리 구성하여 산림경영의 재무성과와 사회적 후생 효과를 비교할 수 있도록 설계하였다.

옵션 A는 주벌 시점의 목재판매수익을 편익으로 인정하는 목재 중심 평가옵션이며, 옵션 B는 목재판매수익과 함께 조림 후 발생하는 공익편익(생태계서비스)을 모두 포함하는 통합적 사회후생 옵션이다. 이를 통해 단일 경영 사업을 두 가지 관점에서 병렬로 분석함으로써, 국유림 산림경영의 경제성을 재무성과와 사회후생의 두 차원에서 평가한다.

2) 산림경영 작업의 분류

산림경영 비용의 일관성과 객관성을 확보하기 위해, 모든 작업을 그 목적과 기여도에 따라 분류하였다. 임내정리, 조림, 풀베기, 덩굴제거, 어린나무가꾸기, 숲아베기 등은 생존을 및

생장 촉진, 생태적 안정성 강화 등 목재생산과 공익기능 모두에 기여하는 기초 작업이므로 옵션 A와 옵션 B 모두에 포함하였다.

반면, 임도, 조사·견적, 벌채, 운반 등은 목재의 수확·반출을 위해 필수적이면서 동시에 산불 대응, 재해 예방, 접근성 확보 등 공익적 기능도 수행하는 다목적 기반작업이다. 따라서 이러한 작업 역시 두 옵션 모두에 동일하게 포함하였다. 이는 작업 포함 여부가 사업체계의 차이로 오해되는 것을 막고, 두 옵션의 핵심적 차이를 편익 구성 방식에 두도록 하기 위한 것이다. 작업별 분류는 다음과 같다(Table 1).

2. 국유림 산림경영에 대한 가정

본 연구에서 국유림 산림경영의 분석단위, 경영기간, 가격 기준, 할인율 등 분석 가정은 다음과 같다(Table 2).

본 연구의 분석단위는 1 ha의 표준 임분이며 대상 수종은 낙엽송(*Larix kaempferi*)이다. 경영기간은 중경목 기준 50년으로 설정하였다. 모든 금액 데이터는 2023년도 고시·계획 문서의 단가와 가격을 직접 적용하여 2023년 기준으로 현금 흐름을 구성하고, 이후 할인율을 적용해 현재가치로 환산하였다. 소비자물가지수 등을 이용한 추가적인 물가 보정은 수행하지 않고, 2023년의 표준단가·시장가격을 기준연도 값으로 고정하여 비교 가능성을 확보하였다.

할인율은 연 2%를 기본값으로 적용하였다. 이는 일반 공공

Table 1. Inclusion of forest management operations in option A and option B.

Forest Management Operation	Option A (Timber Purpose)	Option B (Public Purpose)	Rationale
Site cleaning	○	△	Enhances survival and stand condition; partially relevant to public functions
Planting	◎	◎	Foundational activity essential for both timber production and public benefits
Weeding	◎	○	Improves survival and growth; contributes to long-term ecological stability
Vine removal	○	○	Supports stand health in both options
Pre-commercial thinning	◎	◎	Strengthens physiological vigor and improves ecosystem functions
Commercial thinning	◎	◎	Enhances stand structure and long-term public ecosystem services
Forest roads	◎	○	Multi-purpose infrastructure supporting timber extraction, forest access, disaster response, and public use
Surveying / Estimation	◎	○	Required for timber harvesting but also relevant for forest governance and management
Felling / Extraction	◎	○	Timber-mobilization process whose costs must be reflected in both evaluation options

Note. Symbols indicate degree of relevance:

◎ = Strong relevance; ○ = General relevance; △ = Limited relevance

Table 2. Assumptions for national forest management.

Category	Description
Analytical unit	· 1 ha (standard stand; larch <i>Larix kaempferi</i> , 2nd grade)
Management period	· 50 years (based on medium-rotation timber stand).
Price standard	· Recent-year real prices (fixed prices) are used for conversion; timber unit prices are based on the national average log prices reported in the 2025 second-quarter (June) log market price survey in Korea
Discount rate	· Base rate of 2 percent (reflecting the practice of public project appraisal and long-term environmental valuation); sensitivity tests conducted at 1–3 percent.
Baseline	· Includes all forest management operations—site cleaning, planting, weeding, vine removal, juvenile tending, pre-commercial thinning, commercial thinning, forest roads, surveying/estimation, and felling/extraction—in both Option A and Option B, reflecting that national forest management simultaneously performs timber and public functions
Onset of public benefits	<ul style="list-style-type: none"> · Assumed to begin 20 years after afforestation (Elliott et al., 2017; Bernal et al., 2018; Gong et al., 2019). · Public benefits increase gradually to the national average level by year 30, and remain constant thereafter. · This reflects the representative pattern of forest ecosystem services such as carbon sequestration reaching a plateau after ≈ 30 years. ※ Public benefits are modeled to increase linearly from year 0 to year 30, achieving the full value (public_value_per_ha) by year 30 and then remaining constant each year thereafter.

투자사업에 적용되는 사회적 할인율(4.5%)보다 낮은 수준이지만(KDI, 2008; MOEF, 2019), 국유림 산림경영이 탄소흡수·수자원함양 등 장기·세대 간 공익편익을 중심으로 하는 환경·기후 관련 사업이라는 점을 고려한 결과이다. 기후변화와 생태계서비스를 대상으로 한 비용-편익 분석에서는 Stern(2007)의 기후변화 경제학 보고서, Drupp et al.(2018)의 사회적 할인율 전문가 설문, Jarisch et al.(2022)와 Muñoz Torrecillas et al.(2019)의 산림·조림 프로젝트 분석 등에서 대체로 1~3% 수준의 장기 사회적 할인율을 사용하는 것으로 보고된다. 이러한 선행연구와 국내 예비타당성조사 지침에서 제시하는 사회적 할인율 범위를 종합적으로 고려하여, 본 연구는 2%를 기준 시나리오로 설정하고 1~3% 범위에서 민감도 분석을 수행하였다. 옵션 A의 참조수준에서 임내 직접 사업비만 포함한다. 구체적으로 조림, 풀베기, 어린나무가꾸기, 간벌, 주벌에 수반되는 관리비를 비용 항목으로 반영하였다. 반면 임도·설계·감리와 같은 항목은 목재의 수확·반출에 필수적으로 요구됨과 동시에 산불 예방, 재해 대응, 휴양·접근성 확보 등 공익적 다목적 기능을 지지하는 기반 비용이므로, 본 연구에서는 옵션 A와 옵션 B 모두에 동일하게 포함하였다. 이는 특정 작업의 포함 여부가 사업체계의 차이로 오인되는 것을 방지하고, 두 옵션의 차이를 편익 구성에만 두기 위한 조치이다.

본 연구는 숲가꾸기 및 조림을 통해 창출되는 산림의 공익 편익이 조성 후 즉시 최대화되지 않고, 임분 발달과 생태적 천이에 따라 점진적으로 나타난다는 점을 반영하였다. 기본 시나리오에서는 공익편익의 본격적인 발생 시점을 조성 후 20년($s=20$)으로 가정하였다. 이는 다음의 근거에 기반한 보

수적 가정이다. 탄소 흡수·저장의 경우, 조림 직후에도 흡수는 시작되지만, 정량적으로 유의한 축적·안정적 순탄소예산은 대체로 20~30년에 달성된다는 보고들이 존재한다. Bernal et al.(2018)은 전 세계 복원림 메타분석에서 조림 후 첫 20년 동안 CO₂ 제거율이 가장 높았다는 결과를 제시하였고, Gong et al.(2019)은 중국 혼효 조림지 연구에서는 약 30년 경과 시점에 기준수준(reference level)에 도달한다고 보고하였다. 또한, CIEEM(2024) 검토는 새로 조성된 산림이 대체로 최소 20~30년은 지나야 순탄소예산에 도달한다고 정리한다. 한편, 수원 함양의 경우 수문학적 편익은 더 느리게 나타나는 경향이 있다. Jackson et al.(2005)은 504개 유역 종합 분석에서 조림 후 초기 10~20년 동안 하천 유출이 크게 감소한다고 보고하였다. Elliott et al.(2017)도 장기 관측에서도 재림화 이후 수십 년간 기대치보다 낮은 유출이 지속된 사례가 보고하였다. 이러한 연구 결과들에 기반하여 본 연구에서는 20년 이전에는 수원 함양, 탄소 흡수원과 같은 산림의 공익적 기능을 긍정 편익으로 계상하지 않는 것이 합리적이라 판단하였다. 본 연구에서는 공익적 가치는 조림 후 20년부터 발생하며, 30년까지 전국 평균 수준으로 증가하며, 30년부터는 동일한 값이 유지되는 것으로 가정한다. 이는 대표적인 공익기능 중의 하나인 탄소흡수량이 정제하기 때문이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

연간 산림의 공익적 편익 A가 연도 $t \geq s$ 부터 발생한다고 가정하면, 식 1과 같다.

$$B_t^{public} = A \cdot 1[t \geq s], \quad s = 20(\text{기본}) \tag{1}$$

여기서, A는 ha당 연간 공익편익(annuity), t는 연도(1,...,50), s는 공익편익이 발생하기 시작하는 시점(본 연구에서는 20년)을 의미한다. 또한, $1\{t \geq s\}$ 는 지시함수로서, 공익편익이 해당 시점($t \geq s$)부터 발생함을 나타내며, $t < s$ 에서는 0이 되어 편익이 발생하지 않음을 의미한다.

이후 20년부터 30년 동안 선형적으로 편익이 비례하여 증가하도록 모델링하였고 이는 식 2와 같이 구현하였다.

$$w(t) = \begin{pmatrix} 0 & t < 20 \\ \frac{t-20}{10} & 20 \leq t < 30 \\ 1 & t \geq 30 \end{pmatrix}, B_t^{public} = A \cdot w(t) \quad (2)$$

여기서, $w(t)$ 는 공익편익이 시간에 따라 증가하는 패턴을 반영하는 가중함수이며, $t < 20$ 에서는 0(편익 없음), $20 \leq t < 30$ 에서는 0에서 1까지 선형적으로 증가, $t \geq 30$ 에서는 1(최대 편익 유지)을 의미한다.

3. 분석 자료 및 방법

본 연구의 분석자료를 비용과 편익으로 구분하면 다음과 같다(Table 3).

1) 비용

본 연구에서는 임내 직접 시업비를 공정별·연도별로 재구성하였다. 모든 작업 단가는 「2023년도 산림자원분야 사업계

획」의 조림사업단비표 기준단가와 「2023년도 산림자원분야 사업계획 총묘가격 결정고시」에 근거하였다. 구체적으로, 임내정리 및 조림비는 「2023년도 산림자원분야 사업계획」의 경제림조성비-정리작업-직접노무비 단가를 적용하고, 묘목대(3,000본/ha)를 추가하는 방식으로 산정하여(묘목단가는 2023년 총묘가격 고시치를 적용) 조성 0년차에 1회(11,205천 원/ha) 반영하였다. 풀베기는 경제림조성비의 정리작업 단가를 기준으로 1/2/3년차 각 2회(총 6회) 반영하였고(2,244×6=13,466천원/ha), 덩굴제거는 5년차 1회(1,403천원/ha), 어린나무가꾸기는 8년차 1회(2,045천원/ha), 솎아베기는 15·25년차 각 1회(총 2회, 1,600×2=3,200천원/ha)로 편성하였다. 견적조사는 회기 말(50년차)에 1회(451천원/ha)를 반영하였으며, 임도 건설(7,215천원/ha)은 목재 수확을 위한 필수 작업이면서 산불 예방, 재해 대응, 휴양 및 접근성 확보 등 공익적 기능을 동시에 수행하는 다목적 기반비용이므로, 옵션 A와 옵션 B 모두에 동일하게 포함하였다. 이와 같은 기준에 따라 산정된 총비용은 두 옵션 모두 56,306천원/ha로 동일하게 나타났다.

2) 편익

본 연구에서 목재 수익(옵션 A)은 재적(m^3/ha) × 평균 원목단가($원/m^3$)로 계산하였다. 국유림 평균 축적 $182 m^3/ha$ 와 「국산재 원목시장가격 동향」의 낙엽송 2등급 산지 평균단가 $105,800원/m^3$ 를 적용하여 임목 판매수익을 산정하였다. 그 결과, 주별 시점의 총 판매수익은 19,256천 원/ha로 계산되었

Table 3. Summary of cost and benefit components used for economic analysis for national forest larch stand (50-year Rotation).

Category	Unit (1,000 KRW/ha)	Frequency	Year of operation	Amount (1,000 KRW/ha)
Costs components				
Stand clearing including Planting	11,205	1	0	11,205
Weeding	2,244	6	Years 1/2/3 (2 times each)	13,466
Vine removal	1,403	1	5	1,403
Juvenile tending	2,045	1	8	2,045
Thinning	1,600	2	Years 15/25	3,200
Survey and estimation	451	1	50	451
Forest road construction	7,215	1	50	7,215
Timber harvesting and processing	6,118	1	50	6,118
Total costs			56,306	
Benefits components				
Timber sales revenue (Option A)			19,256	
- Based on growing stock $182 m^3/ha$ and 2nd-grade larch price (₩105,800/ m^3)				
Public benefits (Option B)			41,113	
- Derived from national forest public value (₩259 trillion/year), converted to annual per-ha annuity from year 20 onward				

다. 축적과 단가를 단순 곱하는 방식은 평균 편익을 과소 추정할 수 있으나, 실제 시장에서 경영자가 낮은 등급의 원목 생산을 의도적으로 선택하지 않는 점을 고려하면 이러한 산정 방식은 합리적이면서 동시에 보수적인 평가 접근에 해당한다. 또한 경제학적으로 기회비용은 포기한 선택지 중 가장 높은 가치를 의미하므로(Rhoads, 2021; Say, 2020), 평균단가 기반의 편익 산정은 과소추정을 방지하고 실질적인 수익 수준을 반영하기 위한 적절한 방식으로 볼 수 있다.

공익가치(옵션 B)는 NIFoS(2023)의 최신 공표치인 산림의 공익적 가치 총액(연 259조 원)을 근거로 ha당 연간 공익편익으로 환산해 적용하였다. 환산 방식은 우리나라 산림면적(ha)을 분모로 하는 단순 평균 접근을 기본으로 하였다. 비용과 편익의 모든 항목은 연도별 현금흐름으로 구성하여 할인 후 현재가치를 구하였다. 비용(C)은 공정별 발생 시점(초기·중기에는 조림·풀베기·어린나무가꾸기, 중기에는 간벌, 말기에는 주벌 관련 비용이 반영에 맞춰 입력하였다. 편익(B)은 시나리오에 따라 다르다. 옵션 A에서는 주벌 시점의 목재 판매 수익을 편익으로 반영한다. 옵션 B에서는 연간 공익편익(원/ha/년)이 특정 시작연도(예: 20년차)부터 균등하게 발생하는 연금 형태로 반영된다. 한편, NIFoS(2023)의 산림 공익가치 총액(연 259조 원)은 목재생산 기능을 포함하지 않고 비시장적 기능만을 평가한 값이므로, 목재판매수익은 공익편익과 중복되지 않는다. 이에 따라 본 연구의 옵션 B에서는 공익편익과 함께 주벌 시점의 목재판매수익도 포함하여 국유림 경영의 통합적 가치를 평가하였다. 비용과 편익의 모든 항목은 연도별 현금흐름으로 구성하여 할인 후 현재가치를 구하였다. 현재가치 $PV(X)$ 는 각 연도 t 의 흐름 X_t 를 할인율 r 로 할인하여 $PV(X) = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1+r)^t}$ 로 정의한다. 순현재가치(NPV)는 $NPV = PV(B) - PV(C)$ 이며, 편익/비용(B/C)는 $B/C = PV(B) / PV(C)$ 로 계산하였다. NPV가 0보다 크고 B/C가 1보다 크면 해당 시나리오는 재무적 혹은 사회적 관점에서 경제성이 있다고 판단한다. 내부수익률(IRR)은 순현재가치(NPV)가 0이 되는 할인율을 의미하며, IRR이 적용 할인율보다 높을 경우 경제성이 있는 것으로 판단한다(Boardman et al., 2018; Hanley and Barbier, 2009).

4. 민감도 분석

본 연구는 산림경영의 경제성을 국가(경영주체)의 목재생산에 대한 재무적 관점과 산림의 공익적 가치 생산에 대한 사회후생 관점에서 모두 검토하기 위해 두 가지 시나리오를 설계하였다. 두 시나리오는 동일한 분석 기간과 할인율을 적용하고, 연도별 현금흐름을 동일한 절차로 현재가치회합으로써 결과를 정량적으로 비교할 수 있도록 하였다. 또한 공익가

치의 중복계상을 방지하고, 임도와 같은 간접비의 배분 방식에 따라 결과가 민감하게 달라지지 않는지 확인하기 위해 별도의 검증 절차를 마련하였다.

마지막으로, 결과의 타당성을 점검하기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 할인율은 1-3% 범위에서 변화시켜 시나리오 간 차이를 검토하였으며, 비용 변동 시나리오는 분석의 명료성을 위해 제외하였다.

분석결과 및 고찰

1. 경제성 분석: 옵션 A (목재 중심)

옵션 A는 목재판매수익만을 편익으로 인정하여 50년 경영 주기를 재무적 관점에서 평가이다. 누적편익은 주벌 시점(50년차)까지 19,256천 원/ha로 증가하지 않는 반면, 누적비용은 조림-육림-벌채에 이르는 전 과정에서 지속적으로 마이너스 누적 흐름을 보이며, 50년 시점의 누적비용은 -34,449천 원/ha로 나타났다(Figure 1).

이로 인해 순현재가치(NPV)는 -27,295천 원/ha로 계산되었으며, 편익/비용(B/C) 비율은 할인율 2% 기준 0.21에 불과하였다. 내부수익률(IRR)도 -3.76%로 나타나, 목재 판매수익만을 기준으로 할 경우 국유림 숲가꾸기는 장기 경영에서도 재무적 유인이 충분하지 않음을 확인할 수 있다. 이 결과는 기존 선행연구에서 반복적으로 지적된 바와 같이, 조림·육림사업을 순수한 목재 생산 관점으로 평가할 경우 구조적으로 낮은 경제성이 도출된다는 사실과 일관된다. 즉, 목재 중심의 분석틀만으로는 국유림 경영의 실질적 가치를 설명하기 어렵다.

2. 경제성 분석: 옵션 B (공익 포함)

옵션 B는 동일한 비용 구조를 전제로 하되, 산림이 제공하는 연간 공익편익과 주벌 시점의 목재판매수익을 함께 포함한 사회후생 관점의 평가이다. 공익편익은 조성 후 20년차

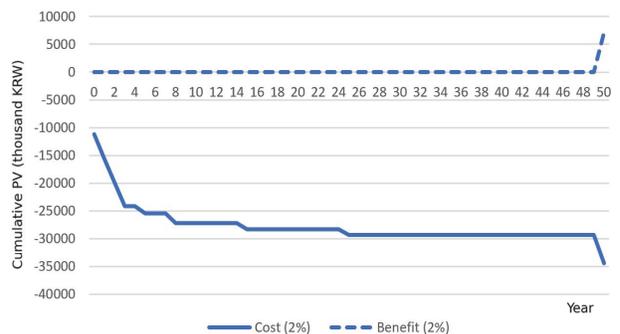


Figure 1. Option A (Timber Only): cumulative pv at 2% discount rate.

부터 나타나기 시작하여 30년차에 ha당 41,113천 원 수준으로 도달한 뒤, 이후 매년 일정하게 발생하는 연금형 구조로 반영된다. 옵션 B에서 누적비용은 옵션 A와 동일하게 -34,449천 원/ha로 유지되지만, 누적편익은 20년 이후 급격한 증가세를 보이며 50년 시점에는 약 510,921천원/ha에 이른다(Figure 2).

이러한 흐름을 반영한 순현재가치(NPV)는 할인율 2% 기준 476,471천 원/ha로 큰 양(+)의 값을 보였으며, 편익/비용(B/C) 비율 역시 14.83로 높은 수치를 보였다. 내부수익률(IRR)은 약 11.56%로 나타나, 산림경영의 공익기능을 포함할 경우 국유림 숲가꾸기가 장기적 관점에서 높은 사회경제적 수익성을 지닌다는 점을 분명하게 보여준다.

즉, 동일한 사업과 비용을 전제로 하더라도, 산림이 제공하는 생태계서비스를 편익에 포함하느냐의 여부에 따라 국유림 경영의 평가 결과는 본질적으로 달라진다. 공익편익을 반영한 옵션 B는 국유림 숲가꾸기가 ‘공익형 투자’임을 정량적으로 뒷받침하는 결과를 나타낸다.

3. 경제성 비교 및 민감도 분석: 옵션 A vs 옵션 B

옵션 A(목재 중심)와 옵션 B(공익 포함)에 대해 할인율 1%, 2%, 3%를 각각 적용했을 때의 연도별 누적 현재가치(PV)를 비교하였다(Figure 3, Figure 4). 가로축은 경영기간(연도), 세로축은 누적 현재가치(PV, 천 원)를 나타내며, 각

할인율은 서로 다른 색상으로 표현하였다.

옵션 A의 경우, 누적편익은 주별 시점에만 단일 수익이 발생하기 때문에 대부분의 기간 동안 0에 머물며, 누적비용 곡선을 단 한 번도 상회하지 못한다(Figure 3).

할인율 1%, 2%, 3%에서 옵션 A의 NPV는 각각 -26,926천 원, -27,295천 원, -27,267천 원/ha로 모두 음(-)의 값이며, B/C 비율도 0.30, 0.21, 0.14으로 1 미만을 나타냈다. 내부수익률(IRR)은 -3.76%로 도출되어, 장기 경영에서도 목재판매수익만으로는 재무적 유인이 매우 부족함을 보여준다(Table 4).

반면, 옵션 B에서는 공익편익이 발생하는 20년 이후부터 편익 곡선이 급격하게 상승하며 모든 할인율에서 조기에 손익분기점을 넘어선다(Figure 4).

할인율 1%, 2%, 3%에서 옵션 B의 NPV는 각각 696,411천 원, 476,471천 원, 326,796천 원/ha로 큰 양(+)의 값을 기록하였다. B/C 비율 역시 각각 19.03, 14.83, 11.32로 크게 1 이상을 나타냈다. 내부수익률(IRR)은 약 11.56%로 나타나, 할인율이 달라지더라도 공익편익이 국유림 산림경영의 경제성을 결정하는 주요 요인임을 확인시켜 준다(Table 5).

Table 4. Economic analysis of option A (Timber Only).

Discount rate	PV(Costs) (1,000 KRW/ha)	PV(Benefits) (1,000 KRW/ha)	NPV (1,000 KRW/ha)	B/C ratio	IRR
1%	-38,635	11,708	-26,926	0.30	-3.76%
2%	-34,449	7,154	-27,295	0.21	-3.76%
3%	-31,660	4,392	-27,267	0.14	-3.76%

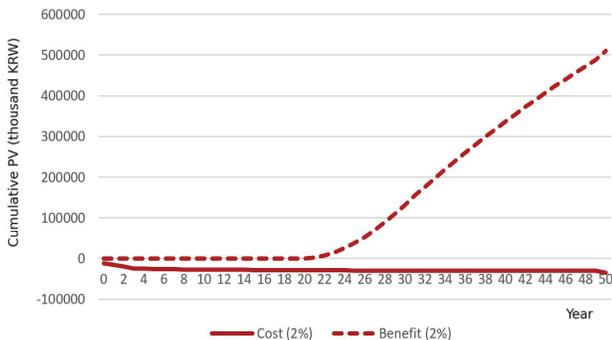


Figure 2. Option B (Timber + Public Benefits): Cumulative PV at 2% discount rate.

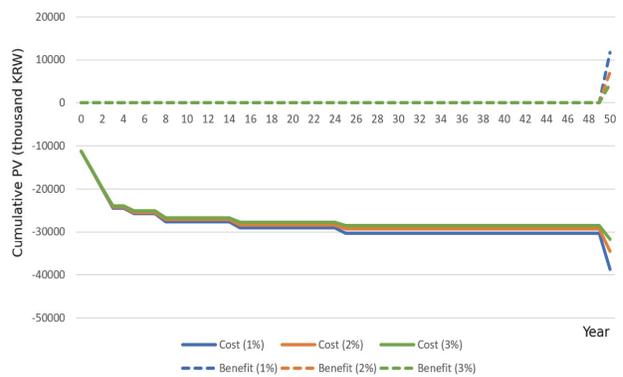


Figure 3. Option A (Timber Only): Cumulative PV by discount rate.

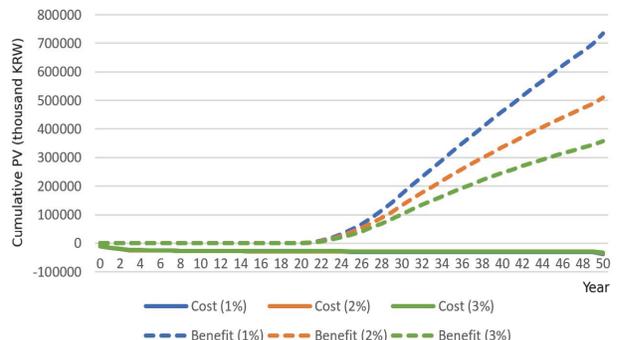


Figure 4. Option B (Timber + Public Benefits): Cumulative PV by discount rate.

Table 5. Economic Analysis of Option B (Timber + Public Benefits).

Discount rate	PV(Costs) (1,000 KRW/ha)	PV(Benefits) (1,000 KRW/ha)	NPV (1,000 KRW/ha)	B/C ratio	IRR
1%	-38,635	735,046	696,411	19.03	11.56%
2%	-34,449	510,921	476,471	14.83	11.56%
3%	-31,660	358,455	326,796	11.32	11.56%

민감도 분석에서도 이러한 결과의 방향성은 일관되게 유지되었다. 옵션 A는 모든 할인율에서 B/C<1과 NPV<0이 유지되어 재무적 경제성이 없었으며, 옵션 B는 할인율이 높아질수록 편익 규모가 다소 감소하더라도 B/C>1 조건이 확고하게 유지되었다. 이는 동일한 비용 구조를 전제로 할 때, 목재 중심 접근과 공익 포함 접근의 경제성 판단이 구조적으로 달라짐을 의미한다.

결론적으로, 국유림 산림경영은 목재 생산만을 고려할 경우 재무적 수익성이 낮지만, 공익편익(생태계서비스)을 함께 반영할 경우 장기적으로 높은 사회후생적 수익률을 제공하는 투자임이 정량적으로 확인된다. 이는 국유림 경영이 공익 기능을 중심으로 설계되어야 하는 근거를 강화한다.

결론

본 연구는 국유림 산림경영의 사회경제적 타당성을 두 가지 평가 프레임 ① 목재 수익과 임내 시업비만 비교하는 재무적 관점(옵션 A), ② 산림의 공익가치 총액을 ha당 연금형 편익으로 반영하는 사회후생 관점(옵션 B)에서 비교·평가하였다. 공익편익은 생태적 시차를 고려해 조성 후 20년부터 본격 발생하는 것으로 가정하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 옵션 A(목재 중심)에서는 현실림의 평균 축적(182 m³/ha)을 적용했을 때 NPV가 모든 할인율(1%, 2%, 3%)에서 -26,926, -27,295, -27,267천 원/ha로 일관되게 음(-)의 값을 보였다. B/C 비율 역시 0.30, 0.21, 0.14으로 모두 1 미만이며, IRR은 -3.76%로 계산되어 재무적 경제성이 낮다는 점이 확인되었다. 이는 국내외 선행연구(Min, 2019; Hong and An, 2025)에서 보고된 바와 같이 목재 중심 산림경영의 낮은 IRR 및 B/C 경향과 일치한다.

둘째, 옵션 B(공익 포함)에서는 공익가치 총액(연 259조 원)을 ha당 연금형 편익으로 반영함에 따라 NPV는 할인율 1%, 2%, 3%에서 각각 696,411천 원, 476,471천 원, 326,796천 원/ha로 크게 양(+의 값을 나타냈다. B/C 비율 또한 19.03, 14.83, 11.32로 모두 1을 상회하였다. 누적 현재가치 곡선에서도 공익편익이 발생하는 20년 이후 편익이 비용을 초기에 상회하며, 기간이 지날수록 두 곡선의 격차가 명확하

게 확대되는 양상이 관찰되었다. 이는 국유림의 공익기능이 장기적으로 매우 높은 사회후생적 가치를 제공함을 정량적으로 보여준다.

셋째, 이러한 결론은 민감도 분석에서도 변하지 않았다. 할인율을 1~3% 범위에서 변화시킨 경우에도 옵션 A는 모든 시나리오에서 NPV<0 및 B/C<1이 유지되었으며, 옵션 B는 할인율이 증가할수록 편익 규모가 다소 감소하더라도 B/C>1 조건이 확고히 유지되었다. 즉, 국유림 산림경영은 구조적으로 목재 생산 중심 재무성은 낮지만, 공익을 포함한 사회후생 관점에서는 경제성이 높다는 결론이 견고하게 유지되었다.

넷째, 국내외 선행연구와의 비교에서도 국제적으로 공통된 패턴이 확인되었다. 즉, 산림경영의 경제성은 시장제인 목재 기준으로는 낮지만, 탄소흡수·수자원 함양·재해저감·휴양·교육·경관·생물다양성 등 사회적 편익을 포함하면 경제성이 확보된다(Krieger, 2001; Pearce, 2001; Lee et al., 2020). 이는 세계적으로 논의되는 산림 생태계서비스 기반의 지속가능한 산림경영 방향과도 일치한다.

본 연구는 국유림 산림경영의 경제성을 목재 생산의 재무적 관점과 공익적 가치 생산의 사회후생적 관점으로 이원화하여 평가함으로써, 산림경영이 시장제 기준으로는 비경제적이나 공익가치 포함 시 일관된 순편익을 창출함을 실증적으로 제시하였다. 이는 경제활동이 지구의 수용능력(carrying capacity)이라는 환경자본의 한계 내에서 이루어져야 한다는 지속가능성 원칙과도 부합한다(Arrow et al., 1995). 특히 생태적 시차를 반영하여 공익편익이 조성 20년 이후 본격화된다는 점을 모델에 내재화함으로써, 기존 연구들이 수행한 정태적 평가의 체계적 저평가 편향을 교정하였다는데 학술적 의의가 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 공익가치 총액은 시점과 국가에 따라 변동성이 크므로, 지표가 갱신될 경우 본 연구의 정량적 결과 역시 조정될 필요가 있다. 이러한 단가·가격 변동은 공익편익의 현재가치에 직접적인 영향을 미치므로, 정기적인 데이터 업데이트와 재추정이 요구된다. 둘째, 분석은 낙엽송과 표준 시업체계를 중심으로 수행되었기 때문에 수종 구성, 지역별 생태·경영 여건, 경영 방식의 이질성에 따라 경제성 결과가 달라질 가능성이 있다. 셋째, 본 연구에서는 “공익적 가치는 조립 후 20년부터 발생하며, 30년까지 전국 평균 수준으로 증가하고 이후 동일한 값이 유지된다”는 보수적 가정을 적용하였다. 그러나 실제 공익적 기능의 발현 시점과 증가 속도는 기후 조건, 수종 특성, 관리 방식, 기후 변화 영향 등에 따라 지역별·시기별로 상이할 수 있어, 이러한 단일한 발생 시점과 고정된 증가 구조는 현실의 변동성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 지역별 생태·기후 특성을 반영한 동태적 추정 모형을 도입하여 공익적 가치의 시간적 변화 양상을 보다 정교하게 모형화할 필요가 있다.

본 연구결과를 기반으로 다음과 같은 정책 제언을 할 수 있다. 첫째, 산림경영을 공익 생산 활동으로 명확히 규정하고, 보조금은 재무분석의 비용이 아니라 사회후생 분석의 비용으로 처리하는 표준 평가체계를 정립할 필요가 있다. 이는 환경자본의 소모를 비용으로 내재화해야 지속가능한 성장이 가능하다는 논지와 일치하며(Arrow et al., 1995), 육림업에 대한 직불금 역시 목재 생산이 아닌 공익기능 증진 수단임을 명확히 하고 있다는 점과 맥을 같이 한다. 둘째, 임도는 산불 예방·재해대응·휴양·접근성 등 공익 기반 인프라라는 점을 제도적으로 인정하고(Houballah et al., 2023), 기능별 배분 원칙을 마련하여 경제성을 평가할 때 목재 단일 기능에 전액 귀속시키지 않도록 해야 한다. 셋째, 공익편익의 시차(약 20년)를 고려해 단계적·성과기반 직불 등 장기 인센티브 구조를 도입함으로써, 관리 초기의 재정 공백을 완화하고 지속적 관리 유인을 제공해야 한다. 넷째, 벌기령의 합리적 연장을 검토하여 목재 수익성, 탄소흡수, 수자원, 생물다양성의 동시 개선을 도모할 수 있는 체계를 구축해야 한다(Ekholm, 2016; Yu et al., 2024). 다섯째, 고해상도 원격탐사와 현지 조사를 결합해 공익편익의 공간·수종별 분포를 정밀 계량하고, 한계 회피비용·피해비용을 반영한 단가로 현실성 있는 사회후생 평가를 정례화할 필요가 있다. 아울러 PES 설계원리와 외부효과 내재화 논리를 결합한 직불제 강화를 통해 공공재적 산림 기능의 안정적 제공을 제도화하는 것도 중요하다(Wunder, 2005; Pearce, 2001).

감사의 글

이 논문은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. NRF-2021R111A3044195).

References

- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., Jansson, B.-O. and Pimentel, D. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* 15(2): 91-95.
- Bae, S.W. et al. 2011. Korean pine management plan with relation to stand health. Research Report 11-11, National Institute of Forest Science. (in Korean)
- Bernal, B., Murray, L.T. and Pearson, T.R.H. (2018). Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. *Carbon Balance and Management* 13(1): 22. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0110-8>
- Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R. and Weimer, D.L. 2018. Cost-benefit analysis: Concepts and practice (5th ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108235594>
- CIEEM (Chartered Institute of Ecology and Environmental Management). 2024. Carbon in Ecosystems: Evidence review. Winchester: Chartered Institute of Ecology and Environmental Management.
- Drupp, M.A., Freeman, M.C., Groom, B. and Nesje, F. 2018. Discounting Disentangled. *American Economic Journal: Economic Policy* 10(4): 109-134.
- Ekholm, T. 2016. Optimal forest rotation age under efficient climate change mitigation. *Forest Policy and Economics* 62: 62-68.
- Elliott, K.J., Miniati, C.F., Pederson, N., Laseter, S.H. and Knoepp, J.D. 2017. Water yield following forest-grass-forest transitions. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 981-997. <https://doi.org/10.5194/hess-21-981-2017>
- Gong, Z., Tang, Y., Xu, W. and Mou, Z. 2019. Rapid sequestration of ecosystem carbon in 30-year reforestation with mixed species in dry hot valley of the Jinsha River. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(11): 1937.
- Hanley, N. and Barbier, E.B. 2009. Pricing nature: Cost-benefit analysis and environmental policy. Edward Elgar.
- Hong, S.H. and An, M.Y. 2025. Empirical study on the economic feasibility of national forest management. *Korean Journal of Environmental Ecology* 39(1): 82-89. (in Korean with English abstract)
- Houballah, M., Cordonnier, T. and Mathias, J. D. 2023. Maintaining or building roads? An adaptive management approach for preserving forest multifunctionality. *Forest Ecology and Management* 537: 120957.
- Jackson, R. B. et al. 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science* 310(5752): 1944-1947. <https://doi.org/10.1126/science.1119282>
- Jarisch, I. et al. 2022. The influence of discounting ecosystem services in robust multi-objective optimization – An application to a forestry-avocado land-use portfolio. *Forest Policy and Economics* 141: 102761.
- Jeong, D.Y. and Choi, S.I. 2018. Economic feasibility analysis on business investment in the leading forest management zone – Focusing on Suncheon city in Jeollanam-do. *Korean Journal of Forest Economics* 25(1): 55-62. (in Korean with English abstract)
- KDI (Korea Development Institute). 2008. Study on the revision and supplementation of the general guidelines for preliminary feasibility studies (4th ed.). Sejong: KDI. (in Korean)
- KFS (Korea Forest Service). (2009). Reference data of tree

- planting. Korea Forest Service, Daejeon. (in Korean)
- Kim, E.G., Kim, H.H. and Chung, J.S. 2006. Development of a GIS application model for analyzing site-specific suitability and investment efficiency of major plantation species. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 9(2): 1-10. (in Korean with English abstract)
- Krieger, D.J. (2001). Economic value of forest ecosystem services: a review. The Wilderness Society, Washington, DC.
- Kurz, W.A., Stinson, G., Rampley, G.J., Dymond, C.C. and Neilson, E.T. 2008. Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(5): 1551-1555.
- Lee, J., Kim, H., Song, C., Kim, G. S., Lee, W. K. and Son, Y. 2020. Determining economically viable forest management option with consideration of ecosystem services in Korea: A strategy after successful national forestation. *Ecosystem Services* 41: 101053.
- Lee, S.Y., Joo, R.W., Kim, S.K., Bae, S.W. and Choi, S.I. 2007. Profitability analysis of reforestation investment for major species. *Proceedings of Korea Forest Society* 436-437. (in Korean)
- Min, K.T. (2019). Forestry profitability in Korea with evaluating stumpage prices. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(3): 405-417.
- MOEF (Ministry of Economy and Finance). 2019. General guidelines for conducting preliminary feasibility studies (Directive No. 436), Article 50. Sejong: MOEF. (in Korean)
- Muñoz Torrecillas, M.J., Roche, J. and Cruz Rambaud, S. 2019. Building a Social Discount Rate to Be Applied in US Afforestation Project Appraisal. *Forests* 10(5): 445.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2021. Analysis of forest tending project effects. NIFoS Report, Seoul. (in Korean)
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2023, March 29. Forest public-benefit valuation for 2020 reaches KRW 259 trillion [Press release; in Korean]. National Institute of Forest Science.
- Pearce, D. 2001. The economic value of forest ecosystems. *Ecosystem Health* 7(4): 284-296.
- Rhoads, S.E. 2021. *The economist's view of the world*. Cambridge University Press.
- Samuelson, P.A. and Nordhaus, W.D. 2010. *Economics* (19th ed.). McGraw-Hill.
- Say, J. 2020. *Principles of economics* (Vol. 2.0). Pressbooks.
- Scherpenhuijzen, N., West, T.A., Debonne, N., Oostdijk, S., Adame, P., Astrup, R. and Verburg, P.H. 2025. Mapping forest management regimes in Europe. *Forest Ecology and Management*, 594, 122940.
- Seok, H.D., Sohn, C.H., Lee, C.H. and Kim, Y.R. 2000. Socioeconomic effect analysis of private forest investment. Korea Rural Economic Institute, Research Report C2000-27. (in Korean)
- Stein, S.M., Alig, R.J., White, E.M., Comas, S.J., Carr, M.A. and Eley, M. 2007. National forests on the edge: Development pressures on America's national forests and grasslands. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-728. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Stern, N.H. 2007. *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press.
- Sugimura, K. and Howard, T.E. 2008. Incorporating social factors to improve the Japanese forest zoning process. *Forest Policy and Economics* 10(3): 161-173.
- Takahashi, T., de Jong, W., Kakizawa, H., Kawase, M., Matsushita, K., Sato, N. and Takayanagi, A. 2021. New frontiers in Japanese Forest Policy: Addressing ecosystem disservices in the 21st century. *Ambio* 50(12): 2272-2285.
- United Nations (1992). Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992). Annex III: Forest Principles.
- United Nations. 1992a. Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992), Annex III: Forest Principles. United Nations, New York, USA.
- United Nations. 1992b. Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil.
- Voigt, J., Litvyak, O. and Lampoltshammer, T.J. 2024. Analysing Parliamentary Discourse on Forestry Management and Timber Industries in Austria and Germany using BERTopic.
- Wunder, S. 2005. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. CIFOR Occasional Paper.
- Yu, Z., et al. (2024). Maximizing carbon sequestration potential in Chinese forests through optimal management. *Nature Communications* 15(1): 3154. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47143-5>