

북한 산림복원의 생태계 서비스 기반 경제적 가치평가

임철희*, 최현아¹

국민대학교 교양대학, ¹한스자이델재단 한국사무소

Ecosystem service-based economic valuation of forest restoration in North Korea

Chul-Hee Lim* and Hyun-Ah Choi¹

College of General Education, Kookmin University, Seoul 02707, Republic of Korea

¹Korea Office, Hans Seidel Foundation, Seoul 04419, Republic of Korea

*Corresponding author

Chul-Hee Lim

Tel. 02-910-6569

E-mail. clim@kookmin.ac.kr

Received: 5 April 2021

Revised: 17 June 2021

Revision accepted: 21 June 2021

Abstract: To attain the long-term benefits of forest restoration in North Korea, it is important to present the economic value of reforestation. This study as aimed to evaluate the economic value based on cost-benefit analysis from the ecosystem services perspective. The benefits of reforestation were classified into ecosystem services such as carbon sequestration, water supply, soil erosion control, and disaster risk reduction, and were converted into economic values to calculate comprehensive benefits. In the forest restoration scenario, an "independent forest restoration scenario (IFS)" and a "cooperation-based forest restoration scenario (CFS)" were composed in consideration of recent afforestation performance and forest policy, and the difference in the quantity of afforestation was derived as a scenario despite the same restoration period. In the IFS, it is estimated that over the next two decades, 800 thousand ha of the forest will be restored at a cost of KRW 3,829 billion, resulting in a benefit of KRW 6.87 trillion. The present benefit net value is KRW 3,39 trillion. In the CFS, it is estimated that the benefits of KRW 18,890 billion will be generated by restoring 2.2 million ha of the forest at a cost of KRW 10,053 billion. The present benefit net value is KRW 8,359 billion. In both scenarios, BCR had an economic feasibility value greater than 1, but there was a big difference in the expected benefits. In conclusion, forest restoration can have higher benefits than cost, and its value could be enhanced through forest cooperation.

Keywords: forest restoration, economic valuation, ecosystem services, North Korea, benefit-cost analysis

서 론

최근 30년 동안 북한의 산림은 약 30%가 황폐화된 것으로 보고되고 있으며, 산림생태계와 식량, 물, 에너지 등 다

양한 분야로 영향이 나타나고 있다(Kim *et al.* 2016; Lim *et al.* 2017, 2019). 많은 국내외 기관과 연구자들이 황폐화된 수준에 대해 분석하고 제시하였으나, 분석기법이나 데이터 및 시기에 따라 차이가 나타나 전반적으로는 약 200

만 ha~300만 ha 수준으로 논의되고 있다(Jin *et al.* 2016; Kim *et al.* 2016; Dong *et al.* 2020). 산림황폐화는 산림생태계의 건강성뿐 아니라 각종 자연재해와 산림이 제공하는 기본적 기능의 악화로 이어졌으며, 탄소저장 기능이나 물 공급 기능 등 대표 기능들의 악화로 인해 농업이나 생활에 부정적 영향을 주고 있으며, 홍수나 가뭄 등 자연재해에 취약해진 것으로 조사되고 있다(Kim *et al.* 2016; Lim *et al.* 2019). 최근 연구에서는 산림황폐화로 전용된 농경지의 질적 저하로 농업환경에도 불리해진 것으로 보고되었다(Lim *et al.* 2017). 즉, 극심한 산림황폐화로 인해 산림생태계는 물론 식량, 물, 에너지 등 다양한 분야로 영향이 나타나고 있는 것이다.

2010년대 들어 북한 내부적으로나 국제사회, 남북협력 측면에서 다양한 산림복원의 필요성이 제기되고 사업이 추진되어왔다. 2018년 3차례의 남북정상회담 이후 산림복원을 중심으로 한 남북환경협력이 철도 등과 함께 가장 우선적인 협력사업으로 추진되고 있으며, 다양한 형태의 계획과 협의 등이 등장했다. 남북협력 이행추진위는 산하 3개 분과위원회 중 남북관계발전분과에 '산림협력 연구 태스크포스(TF)'를 설치해 운영하고 있으며, 산림청 내에 남북산림협력단이 설치되어 각종 사업 구상 및 추진 중이다. 북한에서는 '산림건설총계획' 등 내부적인 계획에 따라 조림사업이 진행 중인 것으로 알려져 있다(Ministry of Unification 2019). 국제사회에서는 비영리기관들과 국제기구들이 협력하여 북한에 대한 조림사업을 추진 및 진행 중이며(Hanns Seidel Foundation, 아시아녹화기구, UNESCAP, GCF 등이 진행 및 추진계획 중임), 남북협력 관점에서 산림협력 분과회의, 접경지역 실태조사(국립산림과학원 등)와 양묘장 설치(강원 고성 평화양묘장 등) 등 실질적 움직임 시작되고 있다. 다만, 기술 및 재정적 한계로 기존 계획만큼의 조림실적을 달성하지는 못하고 있다(Choi 2018).

2010년대 이후 대한민국(남한) 연구자들을 중심으로 북한 산림황폐화의 영향 관련 연구들이 다수 수행되었다. 산림생태계 변화, 탄소저장 기능 변화, 농업환경 변화, 수자원 균형 변화 등 산림황폐화로 인한 산림의 기능적 변화에 많은 초점을 두고 연구들이 수행되었다(Kim *et al.* 2016; Lim *et al.* 2017, 2019). 산림복원을 위한 연구들의 경우 대체자료와 관련기관 인터뷰를 통해 복원의 비용과 편익을 산정하기 위한 노력도 확인되었다(Oh 2012; KAST 2014).

또한, 산림복원이나 보전을 위해 생태계 서비스 개념을 활용한 경제적 가치평가 연구들도 국내외에서 시도되고 있다(Podolak *et al.* 2015; Lee *et al.* 2018a; Song *et al.* 2018). 다만 북한을 대상으로 한 사례는 아직 이러한 시도가 나타나지 않았다. 산림복원은 산림생태계가 제공하는 다양한 생태계 서비스를 증진시켜 공익적 가치와 사회적 편익을 크게 증진시킬 수 있으며, 대한민국(남한)의 사례를 보았을 때, 산림복원은 탄소저장, 재해저감, 수자원공급 등 다양한 편익을 예상할 수 있다(Lee *et al.* 2018a).

장기적인 남북환경협력의 관점에서 북한 산림복원의 경제성을 평가하여 북한 내부 사업, 남북협력사업 및 국제협력사업의 추진 근거를 마련해야 하며, 특히 공익적 가치가 큰 산림의 경우 생태계 서비스 측면의 편익을 도출해야 할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 북한에서 추진 중인 산림복원 계획·정책과 남북협력 및 국제협력을 통해 추진 가능한 산림복원사업의 경제성을 생태계 서비스 관점에서 평가하여 장기적인 북한 산림복원 정책의 정량적 근거와 추진방안을 마련하고자 한다. 특히 북한에서 실제 추진 중인 산림복원 계획과 국내외 협력을 고려하여 별도의 시나리오를 구성할 것이며, 생태계 서비스 관점에서 복원된 산림생태계가 제공하는 다양한 서비스를 경제적 가치로 환산하여 비용-편익 분석을 시행할 것이다. 이는 장기적으로 북한 산림복원 정책이 갖는 정량적 효과와 추진근거가 될 것으로 기대한다.

연구 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 대상은 북한 전 지역을 대상으로 하며, 자료 검토 대상 시기는 최근 20년, 경제적가치 기준은 2015년, 경제성 평가 대상 기간은 2020년부터 2040년까지로 설정하였다. 위 기간은 가용한 데이터, 선행연구 및 통계자료에 따라 설정되었다. 본 연구는 북한 산림의 복원과 관련된 북한 내부의 계획·정책과 함께 국제협력 및 남북협력을 통해 추진되는 산림복원 계획을 분석하여 연구에 활용하였다(Fig. 1). 산림복원의 경제적 가치를 평가하기 위해 복원에 발생하는 '비용'을 산정하고 생태계 서비스 관점에서 복원 시 예상되는 '편익'을 산출하여 각 산림복원 정책시나리오에 따른 비용-편익 분석을 시행하였다.

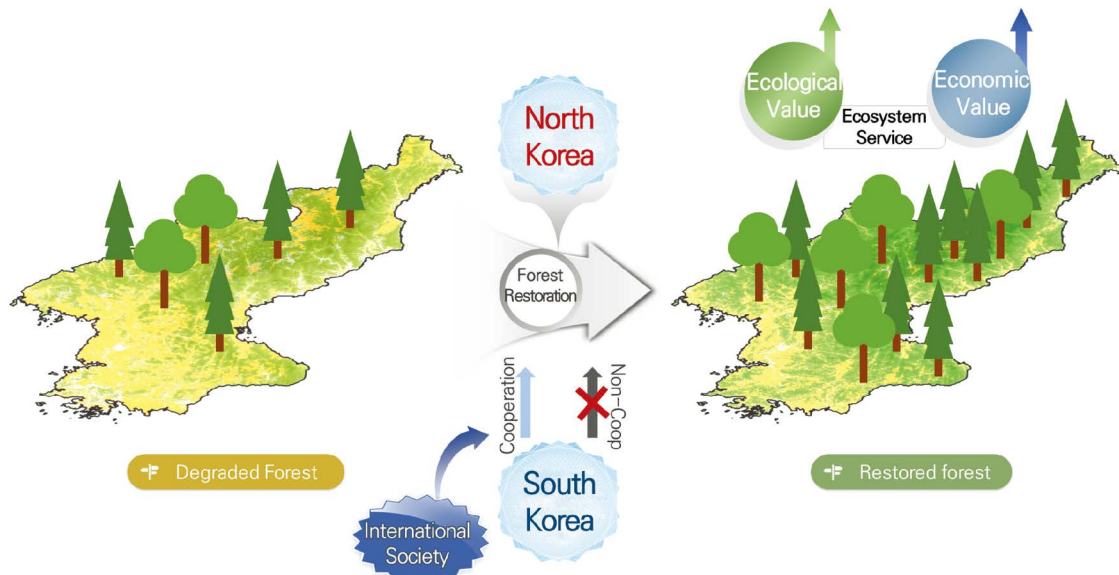


Fig. 1. Conceptual diagram of the study.

2. 산림복원 시나리오 구성

미래 산림복원의 양적 규모를 설정하기 위해 북한의 산림복원 시나리오를 구성하였다. 본 연구에서는 황폐화된 산림면적을 활용하되, 정책에 근거한 물량과 재원을 시나리오의 요소로 활용하고자 한다. 특히 북한의 산림정책으로, 「산림건설총계획」을 기준으로 정책목표를 달성할 수 있는 시나리오를 구성한다. 이를 위해 북한에서 대내외적으로 발표한 보고서, 담화문, 기사 등을 분석하여 적절한 양적 수준을 설정한다. 이를 통해 산림건설총계획 중심으로 북한 단독으로 조림사업을 추진하는 것을 가정하여 산림복원 시나리오를 설계한다.

대한민국의 재정 및 물적 지원을 포함하는 협력 전제 시나리오를 함께 구성하여 협력에 대한 편익을 고려할 것이다. 목표 조림물량 달성을 위한 남북 산림협력이 성공적으로 수행되는 시나리오로 설계하고자 한다. 국제사회의 기여는 전국적 수준보다는 국지적 조림사업과 역량강화에 초점을 맞추고 있으며, FAO에서 제시한 바와 같이 북한 산림복원 계획의 지원을 목적으로 하므로, 산림복원 시나리오에서는 구체적 물량을 포함시키지는 않았다(Choi 2018). 즉, 대한민국과 국제사회가 함께 협력하는 것을 가정하되 기존 협력 사례나 현재 제시된 계획에서 물량에 대한 구체성이 없으므로, 북한 산림계획의 달성에 기여하는 방향으로 시나리오를 설계하였다.

3. 생태계 서비스 기반 비용-편익 분석

비용-편익 분석은 다양한 사업방안의 비용과 편익을 측정 및 평가하여 방안별 경제성 비교를 통해 최적의 대안을 도출하는 기술적인 방법으로 산업분야 외에도 환경복원과 임업, 국제협력 등에서도 널리 활용되고 있다. 일반적으로 비용-편익 분석의 목적은 현실적으로 가능하며 가장 큰 순편익을 제공해주는 대안을 찾아내는 것에 있다. Lee et al. (2018a)에서는 환경복원에 대해 적용하였고, KIEP (2012)는 공적개발원조(Official Development Assistance) 사업에 비용-편익 분석을 활용한 바 있다. 비용-편익 분석을 위해서는 사업에 소요되는 비용과 편익을 세분화하고 항목별로 계량화하는 과정이 선행되어야 한다. 계량화된 비용과 편익에 할인율을 적용하여 현재가치로 계산하게 되며, 최종적으로 가치화된 비용과 편익을 비교하여 경제적 효율성을 평가하여 대안을 선택하게 된다.

본 연구에서 수행하는 비용-편익 분석을 생태계 서비스 개념의 비용-편익 분석으로 규정하여 진행하였다. 산림복원에 따른 다양한 공익적 기능들을 경제적 가치로 환산하여 분석이 수행되며, 이를 위해 생태계 서비스의 개념으로 접근한다. 이는 개별 사업에서의 비용대비 수익이 아닌 영향을 받는 사회 전체를 대상으로하는 분석 개념이며, ‘사회적 비용-편익 분석’의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 사회적 비용-편익 분석은 사회를 구성하는 모든 구성원을 고려

하여 사회 전체를 대상으로 수행되며, 환경이나 안전, 사회적 약자보호 등 사회적 가치에 대한 목표들이 주로 해당되므로, 개별적 비용-편익 분석에 비해 정량화가 어려운 가치(맑은 물, 국민안심, 삶의 질 등)에 대해 평가하고 있다 (Boardman *et al.* 2014). 즉, 편익에 대한 정량화가 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 선정하게될 비용과 편익 항목들을 대상으로, 생태계 서비스 개념의 비용-편익 분석을 수행하며, 순현재가치 (Net Present Value, NPV)와 편익/비용 비율 (Benefit-Cost Ratio)을 산정하여 경제성을 평가한다.

4. 비용 산정방법

북한 산림복원의 전반적 비용을 산정하기 위해서는 실제 조림 시 발생할 수 있는 단위면적당 비용을 기반으로 환산하는 것이 효과적이다. 본 연구에서도 기존 조림사업 사례와 조사결과, 국내조림 사례 등을 활용하여 산림복원에 따른 비용을 산정하였다. 대부분의 기존 연구조사에서 구체적인 조림비용을 산정하는데 어려움을 시사하였으나, 대체자료와 관련기관 인터뷰 등을 통해 비용을 산정한 바 있다 (Oh 2012; KAST 2014).

본 연구에서는 북한 산림복원을 위한 조림 단가를 선정하기 위해 위의 사례들을 종합적으로 참고하였고, 북한 조림을 가정한 합리적인 비용 추정을 지향하였다. Lee *et al.* (2018b)에서 산림복원을 위한 지역별 적정 수종이 제시된 바 있으나, 지역별 적정 수종을 고려하기 위해서는 공간계획의 개념이 포함되어야 하므로, 비용산정에서는 이를 고려하지 않고, 대표적 단위면적당 단가를 적용하여 총 비용을 산정하였다.

북한을 대상으로 조사된 KAST (2014)와 Oh (2012)의 연구를 고려하여 재조림 비용을 기준으로 2010년 기준 1 ha 조림 시 5,270달러의 비용이 발생하는 것으로 산정하였으며, 여기에는 묘목, 인건비, 재료비 등이 모두 포함된다. 물가상승률을 고려한 현재가치를 산정하는 것이 필요하나, 시장지표와 물가의 변동성이 큰 북한을 기준으로 현재 가치를 추정할 경우 불확실성을 내포할 수 있는 요소가 될 것으로 예상된다. 이에 대한민국의 2011~2015년의 물가상승률을 적용하여 2015년 기준 단위면적당 조림비용을 추정하였다. 이는 묘목, 재료 등의 지원이 대한민국 혹은 중국을 통해 이루어지므로, 최인접국의 물가상승률을 고려한 가치 변화를 적용한 것이다. 해당 기간 대한민국의

물가상승률은 2011년 9.2%, 2012년 3.1%, 2013년 -0.6%, 2014년 -2.7%, 2015년 2.0%로 나타났다 (KOSIS 2020). 물가상승률을 적용한 2015년 기준 1 ha 조림 시 비용은 5,850달러로 최종 산정되었다.

5. 편익 산정방법

본 연구에서 선정한 생태계 서비스 항목에 대한 편익을 산출하기 위해서는 각 서비스에 대한 단위면적당 제공되는 서비스의 가격을 설정해야 한다. 비용 산정방법과 같이 편익에서도 단위면적당 제공되는 서비스의 가격을 본 연구에서 단가로 정의한다. 본 연구에서는 생태계 서비스 항목에 따른 편익을 설정하기 위해 국내에서 수행된 항목별 단가 산정 연구를 활용하였다. 북한을 대상으로 한 연구사례나 단가에 대한 정보가 없으므로, 대체지표로서 국내 사례들을 활용하였다.

이번 산림복원에 따른 경제적 가치평가에서 모든 생태계 서비스를 다루는 것은 현실적인 제약이 크므로, 북한 실정에 가장 적합한 항목들을 본 연구에서는 다루고자 하였다. 북한의 경우 산림황폐화에 따라 육상생태계의 탄소 저장량이 크게 훼손된 것으로 Cui *et al.* (2014)과 Kim *et al.* (2016)의 연구에서 제시된 바 있으며, 산림전용 방지와 복원을 탄소저장량으로 환산할 경우 기후변화 협약 매커니즘을 활용하여 경제적 수익을 기대할 수 있다. Lim *et al.* (2019)의 연구에 따르면, 북한의 산림황폐화에 따라 물 공급이 40% 감소하였고, 이에 반해 농업에서의 수효는 60%가 증가한 것으로 나타났는데, 이는 산림의 수자원공급에 대한 중요성을 보여주는 결과이다. 북한의 산림황폐화는 토양침식과 재해 발생에도 영향을 준 것으로 보고되었으며, Lim *et al.* (2017)의 연구에서는 산림전용에 따라 개간된 농경지의 경우 토양유실량이 두 배 이상 큰 것으로 발표된 바 있다. 생태적 복원과 경제·식량문제가 심각한 북한에서는 지원서비스와 문화서비스보다는 공급과 조절서비스에 대한 주민의 수요가 클 것으로 예상되므로, 해당 서비스에 집중할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 산림의 공급서비스 중 수자원공급, 조절서비스 중 탄소저장(기후조절), 재해저감(자연재해 조절), 토양유실 방지(침식조절)를 대상 서비스 항목으로 선정하였다.

본 연구에서는 Lee *et al.* (2018a)의 연구에서 환산한 생태계 서비스별 단가 산정방법과 Kim *et al.* (2012)의 연구에서 설정된 공익기능의 단가들을 고려하여 각 항목별 단

가를 설정하였다. 각 항목별 단가의 산정방법과 기준시점에는 차이가 있으나, 이자율을 적용하여 2015년으로 기준시점을 통일하였다. 탄소저장(기후조절)의 경우, 탄소의 미국 정부에서 발표한 사회적 비용(US Government 2016)을 활용하여 단가를 설정하였다. 여기서는 이산화탄소 1톤당 31달러의 사회적 비용으로 보고되어 이를 활용하였으며, 산림이 이산화탄소를 흡수하는 양만큼의 사회적 비용에 대한 편익이 있다고 가정하였다.

수자원공급의 경우 Kim *et al.* (2012)이 발표한 산림의 공익기능 계량화 연구를 활용하였으며, 1년간 물 1톤당 저장하는 데 소모되는 다목적댐 건설비를 현재가치로 환산하여 활용하였다. 다목적댐 건설비는 1995년부터 2006년 사이 건설된 대곡, 평림 감포댐의 평균 건설비를 감가상각의 조건이 내구연한을 50년, 이자율 7.17% (2008년 기준)를 적용하여 959.91원/톤으로 환산하였다. 연간 댐 저수량 당 유지비를 감가상각비의 1%로 가정하고 이를 포함하면, 969.5원/톤으로 환산할 수 있다. Lee *et al.* (2018a)의 연구에서는 위 금액을 토대로 2010년의 물가를 고려하여 1,025원/톤으로 산정하였고, 이를 US 달러 기준(할인율 및 현재가치 적용)으로 1톤당 0.92달러의 편익으로 계산하였다.

토양유실 방지의 경우에도 Kim *et al.* (2012)의 연구를 활용하였으며, 토사유출방지를 위한 콘크리트사방댐 건설비로 평가하였다. 토사유출 1m³ 당 방지비용은 2008년도 강원 및 경북지역 55개 사방댐의 평균 건설비(222,025천원)/개소당 평균 콘크리트사용량(738.5 m³)/사방댐 1m³ 당 토사유출방지량(40 m³)에 의해 7,515원으로 산출되었다. 마찬가지로 Lee *et al.* (2018a)에서는 2010년 기준의 물가를 고려하여 1톤당 7,950원의 가치가 있다고 산정하였으며, US 달러 기준(할인율 및 현재가치 적용) 9.7달러로 제시하였다.

재해저감 서비스의 Lee *et al.* (2018a)의 방법을 활용하였으며, 산사태, 산불, 홍수를 고려하였으며, 1970~2010년까지 가용한 재해피해액과 복원비용을 기반으로 회귀식을 활용하여 단위면적당 재해저감 편익을 산출하였다. 산사태와 산불 피해액은 산림청의 임업통계연보가 활용되었으며, 홍수의 경우 국가수자원관리종합정보시스템(Water Management Information System)의 데이터를 활용하였다. 1 ha 당 1,682달러의 편익으로 산출되었으며, 톤(Ton)과 같은 질량이 아닌 면적단위로 환산하여 다른 서비스에

비해 값이 크게 나타나지만, 이는 단위의 차이로 이해해야 한다.

결과 및 고찰

1. 산림복원 시나리오 도출

본 연구에서는 두 가지 북한 산림복원 시나리오를 제시한다. 첫 번째 시나리오 “단독조림 시나리오”는 북한에서 수립한 산림건설총계획을 독자적으로 추진하여 내부적으로 가능한 수준의 성과를 얻게 되는 시나리오로 구성하였다. 다만, 이 시나리오에서는 재정과 조림 관련 물자의 부족으로 계획을 모두 달성하지 못하는 것으로 설계하였다. 조림실적 수준은 2013~2018년까지의 조림실적을 기준으로 독자적인 조림이 가능한 수준으로 물량을 산정하였다. 2013~2018년에는 산림건설총계획이 추진되었으나, 대북제재로 남북협력이나 국제사회 지원이 적극적으로 이루어지지 못했으므로, 단독조림 시나리오로서 계량화할 수 있는 시기로 볼 수 있다. 앞선 문헌들을 통해 2013~2018년 동안 시행된 조림실적을 20만 ha로 산정하였고, 2020~2040년까지 20년간 동일한 추세로 조림하였을 경우 80만 ha의 조림이 시행되는 것으로 가정하였다.

두 번째 시나리오 “산림협력 시나리오”는 북한 산림복원을 위한 남북협력 및 국제사회의 지원을 포함하여 공동의 계획 추진으로 초기계획 물량을 달성하는 시나리오로 구성하였다. 지역별 적정수종 혹은 속성림을 활용하고, 조림을 위한 묘목과 종자 수급이 원활하게 추진된 것으로 가정하였다. 또한, 국제사회의 지원으로 현장교육 및 역량강화 또한 충분히 수행된 상황으로 전제하였으며, 궁극적으로, 북한의 산림건설총계획과 대한민국 산림청의 본격협력단계를 결합한 목표를 달성하는 시나리오로 구성되었다. 양적으로 2020~2040년까지 20년 동안 총 220만 ha가 신규·재조림 되는 것으로 가정하였다. 이는 북한의 산림건설총계획(2013~2042) 1~2단계 조림 목표량 전체를 의미한다.

본 연구에서는 산림전용방지에 대해서는 고려하지 않고, 황폐지역에 대한 신규·재조림을 통해 구현되는 산림복원 관련 시나리오와 이에 대한 비용·편익만을 고려하여 수행되었다.

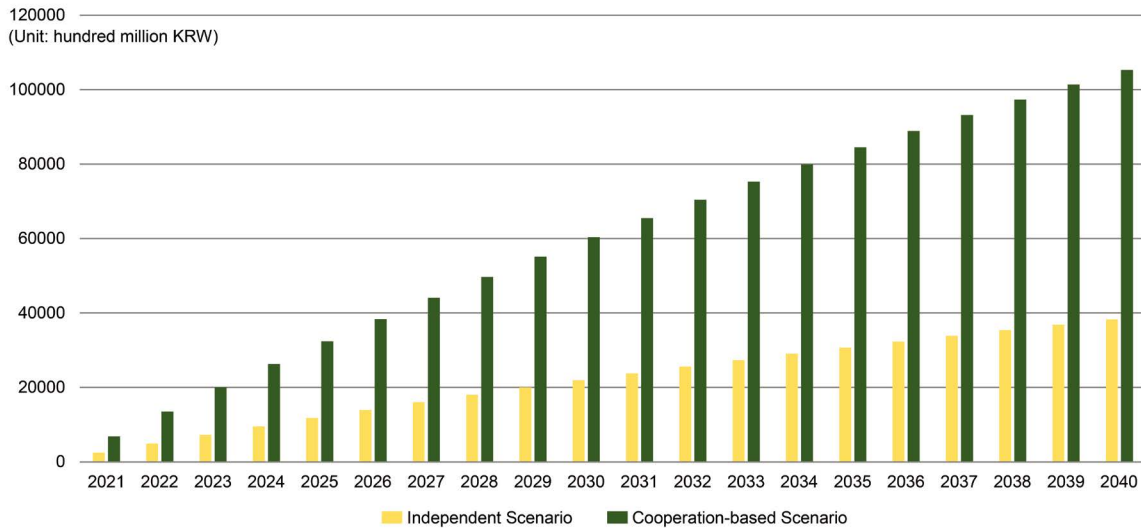


Fig. 2. Accumulated cost according to forest restoration scenario.

2. 북한의 산림복원 비용 산정

본 연구에서 설정한 두 가지 산림복원 시나리오에 따라 2015년 기준 산림복원 비용을 산정하였다. 연도별 투입 금액은 각 시나리오별 조림면적을 20년간 균등 분배하여 동일한 연간 투자금액으로 계산하였다. 단독조림 시나리오의 경우 연간 40,000 ha의 조림이 시행되는 것으로 가정하였고, 산림협력 시나리오의 경우 연간 110,000 ha의 조림이 시행되는 것으로 가정하였다. 단위면적당 조림비용은 앞서 산정한 ha당 조림비용 5,850달러에 1,100원의 환율을 적용하여 원화로 산정하였다.

북한의 단독조림 시나리오의 경우 연간 40,000 ha 조림을 위해 2,574억원이 투입될 것으로 예상하며, 20년간 총 5조 1,480억원의 비용이 예상되었다. 남북 및 국제협력을 고려한 산림협력 시나리오의 경우 110,000 ha의 조림을 위해 연간 7,078억원의 투입이 필요할 것으로 예상하며, 20년간 총 14조 1,570억원의 비용이 소요될 것으로 산정되었다. 위 예상 소요 비용에 할인율 3%를 적용하여 비용의 순현재가치를 산정하였다(Fig. 2).

할인율을 적용한 각 시나리오의 총 비용은 단독조림 시나리오의 경우 3조 8,294억원, 산림협력 시나리오의 경우 10조 531억원으로 산정되었다. 본 연구에서 조림비용과 단계의 경우 많은 가정을 전제하여 만들어진 시나리오이므로, 실제 연간 투자가능 비용이나 현지의 실행력보다는 정책에서 제시하고 있는 수치를 달성한다는 관점에서 산정한 것이다.

3. 산림복원에 따른 생태계 서비스 편익 산정

탄소저장 서비스의 편익 산정을 위해서는 단위면적당 산림탄소저장량을 산정한 후 앞서 선정한 편익 단가를 대입하여야 한다. 본 연구에서는 북한을 대상으로 수행된 Piao *et al.* (2016)의 연구에서 제시된 단위면적(ha)당 산림탄소저장량을 북한 전 지역에 적용하여 산림복원에 따른 산림탄소저장량 변화를 산정하였다. Piao *et al.* (2016)의 연구에서는 ha당 산림축적에 목재기본밀도와 바이오매스확장계수, 뿌리함량비, 탄소전환계수를 활용하여 단위면적당 산림탄소저장량을 산정하였다. 2013년 기준 북한의 단위면적(ha)당 산림의 탄소저장량은 169 tCO₂로 산정되었으며, 이 수치를 본 연구에서 활용하였다. 단위면적당 산림탄소저장량에 앞서 산정한 탄소저장 부문 생태계 서비스별 단가 산정액을 적용하여 편익을 산정하였다. 최종적으로 1 ha 조림 시 발생하는 탄소저장 분야 편익은 6,329,557 원으로 산출되었다.

수자원공급 서비스에 대한 편익 산정을 위해 북한의 수자원공급량을 산정하였던 Lim *et al.* (2019)의 연구에서 제시된 산림의 수자원공급량을 활용하였다. Lim *et al.* (2019)의 연구에서는 2000년대 평균 산림의 총 수자원공급량이 2,047백만톤으로 산정하였으며, 해당 연구에서의 산림면적(7,298,800 ha)으로 나누면 ha당 2,806톤의 수자원을 공급하는 것으로 산출할 수 있다. 탄소와 같이 단위면적당 수자원공급량에 앞서 산정한 수자원공급 부문 생태계 서비스별 단가 산정액을 적용하여 편익을 산정하였다. 최

Table 1. The expected benefit of each forest restoration scenario

Section	Benefit per unit area (KRW/ha)	Benefit of independent forest restoration (hundred million KRW)	Benefit of cooperation-based forest restoration (hundred million KRW)
Carbon Sequestration	6,329,557	37,655	103,577
Water Supply	3,156,236	18,775	51,640
Soil Erosion Control	21,304	176	485.6
Disaster Risk Reduction	2,029,710	12,078	33,207
Overall	11,536,807	68,684	188,909

종적으로 1 ha 조림 시 발생하는 수자원공급 분야 편익은 3,156,236원으로 산정되었다.

토양유실방지 서비스에 대한 편익 산정을 위해 대한민국의 국가단위 조림에 따른 토양유실량 변화를 산정하였던 Kim *et al.* (2017)의 연구에서 제시된 토양유실량 변화를 활용하였으며, 조림 전/후의 토양유실 편차를 통해 단위면적당 토양유실 방지효과량을 정량화할 수 있었다. Kim *et al.* (2017)의 연구에서는 1970년대 산림면적을 기준으로 2000년대의 기후를 적용한 대한민국에서는 산림 지역에서 ha당 4.00톤의 토양이 연간 유실되었는데, 조림 사업이 완료된 2000년대의 산림면적 적용 시 ha당 0.601톤의 토양이 유실된 것으로 제시되었다. 두 시기의 편차를 통해 조림의 토양유실방지 효과는 ha당 3.39톤으로 산정할 수 있었다. 단위면적당 토양유실방지 효과에 앞서 산정한 토양유실방지 부문 생태계 서비스별 단가 산정액을 적용하여 편익을 산정하였다. 최종적으로 1 ha 조림 시 발생하는 토양유실방지 분야 편익은 29,667원으로 산정되었다.

재해저감 서비스에 대한 편익의 경우 앞서 생태계 서비스별 단가 산정에서 인용한 Lee *et al.* (2018a)에서 ha당 효과 금액을 도출하였으므로, 해당 금액을 바로 활용하여 편익을 산정할 수 있었다. 최종적으로 1 ha 조림 시 발생하는 재해저감 분야 편익은 2,029,710원으로 산정되었다.

각 서비스별 단위면적당 발생하는 편익의 편차가 상대적으로 크게 나타났으나, 기존 국내를 대상으로 수행된 연구에서도 유사한 수준의 차이를 보이고 있으므로, 합리적 수준으로 사료된다. 종합적으로 1 ha 조림 시 발생하는 편익은 11,536천원으로 산정되었으며, 단독조림 시나리오에서는 9조 2,361억원의 편익, 산림협력 시나리오에서는 25조 3,993억원의 편익이 예상되는 것으로 계산되었다. 여기에 할인율 3%로 적용하여 순현재가치로 환산한 결과

Table 2. Net present value of benefit and cost of forest restoration scenario in 2040 (unit: hundred million KRW)

Section	Independent forest restoration scenario	Cooperation-based forest restoration scenario
NPV of overall cost	38,294	105,310
NPV of overall benefit	68,684	188,909
NPV of net benefit	30,390	83,599
Benefit-Cost Ratio (BCR)	1.793	1.794

는 Table 1과 같으며, 순현재가치에서는 단독조림 시 6조 8,684억원의 편익, 산림협력 시 18조 8,909억원의 편익이 예상되는 것으로 분석되었다.

4. 산림복원 시나리오에 따른 경제적 가치평가

단독조림 및 산림협력 시나리오에 따른 비용과 편익의 순현재가치를 통해 경제성을 확인한 결과 두 시나리오 모두 편익/비용 비율(BCR)에서 1 이상의 값이 보이므로 경제성이 타당한 것으로 나타났다(Table 2). 이 계산은 20년간의 산림복원 사업추진을 가정하고 2040년이 된 시점에서의 경제성을 평가한 것이다.

총 투입비용을 초기 비용으로 고려하였을 때, 10년 내 손익분기점을 상회하는 것으로 나타났으며, 두 시나리오에서 1.8에 근접한 높은 편익/비용 비율(BCR)을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 산림복원 시나리오에 관계없이 단위면적당 생태적 기능과 서비스 가격은 동일하게 산정하였으므로, 편익/비용 비율(BCR)의 경우 거의 유사하게 나타나는 한계가 있었다.

산림협력 시나리오의 경우 8조 3,599억원의 순편익을 예상할 수 있으며, 단독조림 시나리오에서도 3조 390억원의 순편익이 가능할 것으로 도출되었다. 다만 이 수치는

조림면적에 따른 산정이므로 산지규모나 조림속도 등에 따른 차이를 고려하지 못한 한계가 존재한다. 또한, 조림방법, 수종 등 유형에 따른 세부적 차이를 반영하지 못하였으므로 거시적 측면의 편익으로 간주해야 한다.

생태계 서비스별 편익/비용 비율에서도 두 시나리오가 매우 유사하게 나타났으며, 단일 서비스로는 1을 넘지 못했으나, 2~3가지의 서비스로는 경제성을 가질 수 있는 것으로 확인되었다(Table 3). 탄소저장 서비스의 경우 최근 탄소시장에서 거래할 수 있는 시장재화로 인식되어 경제성이 높게 나타났으며, 토양유실방지 서비스의 경우 경제성은 매우 낮게 나타났으나, 부가적인 서비스로서 인식할 수 있다. 수자원공급 서비스와 재해저감 서비스의 경우 0.5 이하의 편익/비용 비율을 갖지만, 공공재적 성격을 고

려하면 낮지 않은 수준으로 사료된다.

네 가지 생태계 서비스를 모두 고려할 경우 두 시나리오에서 모두 2029년에 전체 비용에 대한 손익분기점을 넘어설 것으로 예상되며, 본 연구에서 생태계 서비스는 조림면적에 비례하므로, 산림복원 사업 진행에 따라 지속적으로 가치가 증가하는 형태를 보인다(Figs. 3, 4). 2040년 기준으로, 탄소저장 서비스만으로도 총비용에 근접한 편익을 예상할 수 있으며, 이는 REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) 사업이나 탄소배출권시장을 활용하여 실물경제로 환산될 수 있을 것으로 기대한다. 향후 북한의 상황을 고려하여 산림경관, 휴양, 대기정화 등 보다 다양한 서비스를 고려할 경우 더 큰 편익을 예상할 수 있다.

Table 3. The benefit-cost ratio of each ecosystem services in two forest restoration scenarios

Section	Independent forest restoration scenario	Cooperation-based forest restoration scenario
Carbon Sequestration	0.9832	0.9835
Water Supply	0.4902	0.4903
Soil Erosion Control	0.0046	0.0046
Disaster Risk Reduction	0.3153	0.3153
Overall	1.793	1.794

5. 산림복원 가치평가의 한계와 함의

종합적으로 편익/비용 비율을 통한 수치적 경제성은 두 시나리오에서 거의 유사하나, 순편익에서는 5조원 이상의 큰 차이를 보이고 있으므로, 산림협력 시나리오에서 장기적인 편익이 클 것으로 예상할 수 있다. 특히 이번 연구에서 반영하지 못한 조림규모와 속도에 따른 생태계 서비스 차이를 고려한다면 경제성의 편차는 더욱 커질 것으로 전망된다.

이러한 편익은 비단 북한으로만 제공되는 것이 아니라

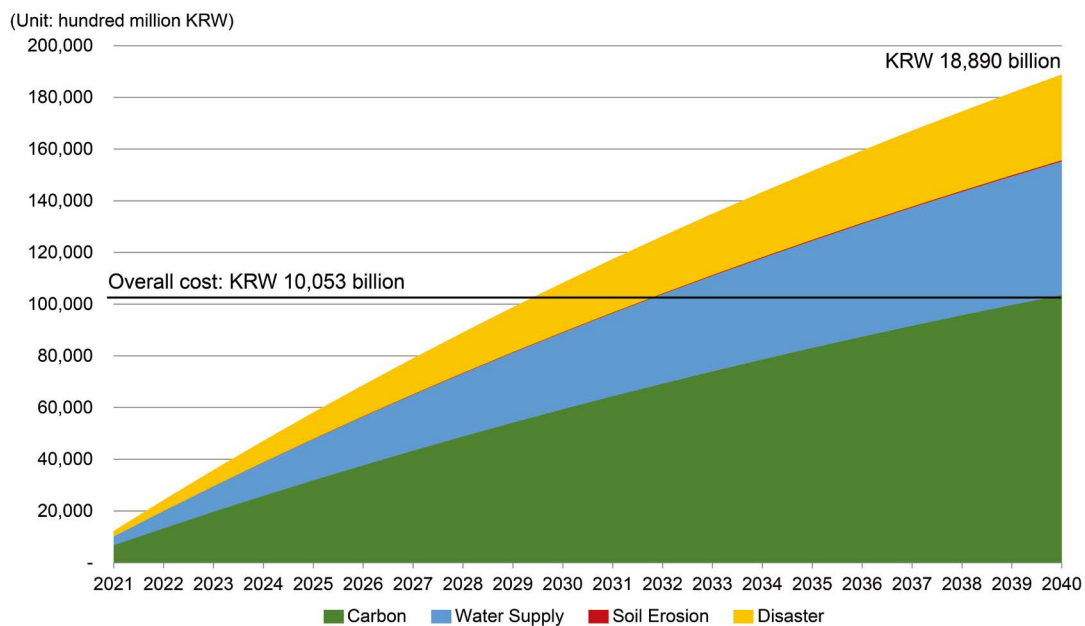


Fig. 3. Overall cost and sectoral benefit changes in the cooperation-based forest restoration scenario.

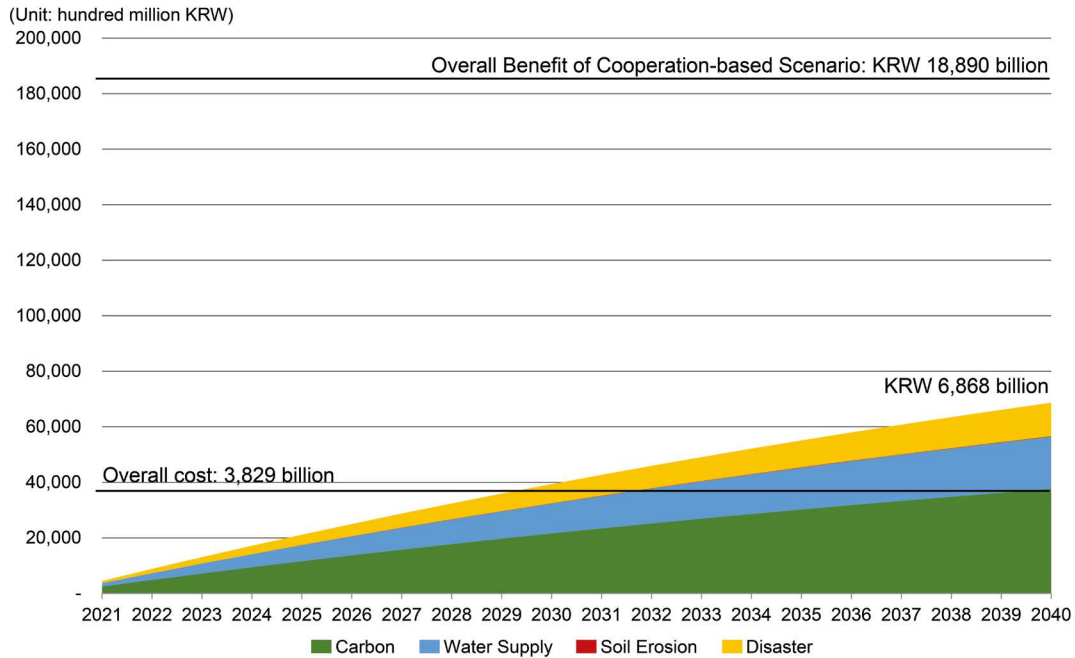


Fig. 4. Overall cost and sectoral benefit changes in the independent forest restoration scenario.

한반도 차원에서 공유될 것으로 예상된다. 수자원공급, 재해저감, 토양유실방지 서비스의 경우에는 남북한이 공유하고 있는 한강유역, 동해안, 서해안 등 인접유역에서 효과를 볼 것이다. 이를 정량화하기 위해서는 공간계획과 생물리적(biophysical) 모형의 활용이 요구되나, 편익이 발생할 것은 분명하다. 또한, 탄소저장의 서비스의 경우 국내 기관 혹은 기업이 참여하여 조림사업 및 산림전용 방지 프로젝트를 시행할 경우 기후변화 협약 메커니즘을 통해 탄소배출권을 확보하고 시장재화로 활용될 수 있을 것이다. 즉 국내에서 북한에 대한 지원이나 산림협력이 비단 비용만 발생하는 것이 아니라 편익도 제공받을 수 있음을 시사한다. 장기적으로는 통일 한반도 차원에서 온 겨레가 풍부한 생태계 서비스를 누릴 수 있음이 가장 큰 편익이라고 볼 수 있다.

산림협력시나리오에서 고비용의 투자가 예상되나, 20년 후 상당히 큰 편익을 거둘 수 있을 것으로 전망되었으며, 본 연구에서의 경제성 평가를 통해 남북산림 협력사업과 국제적 측면에서의 협력사업에 대한 추진 효과가 규명된 것으로 이해할 수 있다. 즉, 산림협력은 대체로 공익적 목적으로만 다루어왔으나, 생태계 서비스 관점에서는 경제적 가치도 충분함을 제시할 수 있었다. 다만, 산림복원은 사업의 지속성이 생태계 서비스 및 경제적 가치를 만드는

데 중요한 역할을 할 것인데, 남북협력사업의 경우 정치적 문제로 잦은 중단을 겪을 가능성이 높은 것이 사실이다. 정치적 상황과 별개로 한반도 환경협력의 관점에서 산림복원사업은 지속적일 수 있도록 사회적 합의를 만드는 것이 필요할 것이다. 즉, 사업추진 측면에서는 경제적 가치를 강조하고, 정치적 상황에서는 공공재적 성격을 강조하여 사업의 지속성을 유지해야 할 것이다.

국제적 측면에서도 국내외 민간재단과의 협력이 현재까지 많은 성과를 거두고 있으므로, 국제기구에서의 합이나 조사뿐 아니라 실행력 높은 민간기구와 협력의 창구를 넓혀나가야 할 것으로 판단된다. 또한, 국제기구와 국내외 민간재단의 역할을 구분하여 적극적으로 육성 및 지원할 수 있는 체계가 필요할 것으로 예상된다. 특히 생태계 서비스 항목 중 탄소저장 서비스의 경우 국내외 기업의 참여를 독려하여 조림사업의 추진력을 증대시킬 수 있을 것이다. 탄소저장 서비스의 경우 경제성이 가장 높으며, 탄소시장 가격에 따라 단독 서비스로만 산정하여도 비용편익비율은 1 이상으로 증가할 수 있다. 대기업의 탄소배출권 확보와 기업의 사회적책임에 대한 최근의 수요를 활용하여 민간기업의 조림사업 참여 확대를 유도할 수 있으며, 이는 민간부문 남북산림협력의 창구가 될 수 있을 것이다.

다만, 이번 분석이 가지는 몇 가지 한계점도 존재한다.

현재 결과는 조림면적에 따라 편익이 비례하여 증가하게 되는 형태이므로, 다소 상식적 수준에서 시나리오 간 편익 차이가 나타났다. 조림의 과정과 형태, 지역에 따라 생태계 서비스와 편익의 발생은 달라질 수 있으나, 본 연구에서는 단순하지만 직관적이고 가장 중요한 요소인 산림복원 면적으로 계량화한 것이다. 향후 공간계획의 개념을 포함하고 생물리적 모델링을 통해 산림생태계의 기능들을 모의한다면 보다 다양한 차원의 편익들과 시나리오 간 차이를 분명하게 구분할 수 있을 것이다. 비용 및 편익 산정에서도 한계점을 안고 있다. 특히 북한의 현지 노동력이 활용될 수 있으므로, 북한과 대한민국, 중국 각각의 물가상승률을 적용하는 것이 필요하나, 본 연구에서는 동일한 수준에서 적용하였다. 편익 측면에서도 일부 계량화 방법은 제시된 지 일정 기간 지난 수치이므로 현재 혹은 미래의 기대 수익과는 차이가 발생할 수 있다.

서비스 항목 측면에서, 본 연구에서 고려한 네 가지 생태계 서비스 항목은 북한에서 시의적인 서비스 항목이지만, 다른 서비스들도 충분히 제공될 것이므로 함께 계량화할 필요가 있다. 특히 산림 생태계 서비스 중 대표적 요소인 목재생산에 대한 고려를 하지 않았다. 다만, 이는 북한의 산림함폐화가 목재의 무분별한 이용과도 관련되므로, 산림복원 단계에서는 목재생산 서비스의 경우 후순위로 산정하는 것이 타당하다고 판단되었다. 국내 산림을 대상으로 한 연구에서는 단위면적당 산림의 생태계 서비스를 ha당 3,000만원 이상의 가치로 계상하였으며, 여기에는 10가지 이상의 생태계 서비스가 포함된 가치였다 (NIFoS 2020). 즉, 더 많은 서비스들을 고려할 경우 산림복원의 경제적 가치는 크게 증가할 수 있을 것으로 전망된다. 다만 전 세계를 대상으로 생태계 서비스를 계량화했던 Costanze *et al.* (2014)의 연구와 비교할 경우에는 본 연구의 편익이 큰 것으로 나타나는데, 이는 열대림이나 건조지 등에서 비용문제가 작용하는 것으로 확인되었다. 또한, 이번 연구에서는 복원된 산림의 면적을 대상으로만 가치평가를 한정했으나, 장기적으로는 북한 전체 산림의 생태계 서비스를 계량화하여 가치를 제시할 필요가 있다.

적 요

본 연구는 북한 산림복원을 생태계 서비스의 관점에서 비용-편익 기반 경제적 가치로 확인하였고, 산림복원 형

태에 따른 경제성을 비교하였다. 특히 산림복원에 따른 편익을 탄소저장, 수자원공급, 토양유실방지, 재해저감 등 생태계 서비스로 분류하고 경제적 가치로 환산하여 종합적 편익을 산출하였다. 산림복원 시나리오에서는 최근의 북한 조림실적과 산림정책을 고려하여 ‘단독조림 시나리오’와 ‘산림협력 시나리오’를 구성하여 동일한 복원기간이나 조림의 양적 물량 차이를 시나리오로 도출하였다. 단독조림 시나리오에서는 향후 20년 동안 3조 8,294억원의 비용으로 80만 ha의 산림을 복원하여 6조 8,684억원의 편익이 발생할 것으로 산출되었다. 순현재가치로 경제성을 평가하였을 때, 3조 390억원으로, BCR은 1 이상이었다. 산림협력 시나리오에서는 10조 531억원의 비용으로 220만 ha의 산림을 복원하여 18조 8,909억원의 편익이 발생할 것으로 산출되었다. 마찬가지로 순현재가치로 경제성을 평가하였을 때, 8조 3,599억원이며, BCR은 1 이상이었다. 두 시나리오에서 모두 BCR은 1 이상으로 경제성을 갖는 것으로 도출되었으나, 예상되는 편익의 양에는 큰 차이가 있었다. 다만, 조림면적에 따른 단순화된 비용-편익 분석이므로, 경제성(BCR)이 유사하게 나타나는 한계가 있으며, 조림속도나 생물리적 차이를 고려하지 않았다. 결론적으로 산림복원은 비용보다 편익이 높은 사업이 될 수 있으며, 산림협력을 통해 그 가치를 증진시킬 수 있다. 장기적으로 이러한 경제성이 근거가 되어 기업과 국제·민간기구 등의 협력을 통해 다양한 형태의 산림협력이 추진되길 기대한다.

사 사

본 연구는 통일부의 신진연구자 정책연구과제와 한국연구재단 신진연구자지원사업(과제번호: 2019R1C1C1004979)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Boardman AE, DH Greenberg, AR Vining and DL Weimer. 2014. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Choi HA. 2018. Prospect and implementation strategy of the inter-Korean forest cooperation: A case study of international organization support project in DPRK. Unification Policy Stud. 27:1-20.

- Costanza R, R De Groot, P Sutton, S Van der Ploeg, SJ Anderson, I Kubiszewski, S Farber and RK Turner. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Glob. Environ. Change* 26:152-158.
- Cui G, WK Lee, D Kim, EJ Lee, H Kwak, HA Choi, DA Kwak, SW Jeon and W Zhu. 2014. Estimation of forest carbon budget from land cover change in South and North Korea between 1981 and 2010. *J Plant Biol.* 57:225-238.
- Dong Y, Z Ren, Z Wang, Q Yu, L Zhu, H Yu and G Bao. 2020. Spatiotemporal patterns of forest changes in Korean Peninsula using landsat images during 1990–2015: A comparative study of two neighboring countries. *IEEE Access* 8:73623-73633.
- Jin Y, S Sung, DK Lee, GS Biging and SW Jeong. 2016. Mapping deforestation in North Korea using phenology-based multi-index and random forest. *Remote Sens.* 8:997.
- Kim D, CH Lim, C Song, WK Lee, D Piao, S Heo and SW Jeon. 2016. Estimation of future carbon budget with climate change and reforestation scenario in North Korea. *Adv. Space Res.* 58:1002-1016.
- Kim GS, CH Lim, SJ Kim, J Lee, Y Son and WK Lee. 2017. Effect of national-scale afforestation on forest water supply and soil loss in South Korea, 1971–2010. *Sustainability* 9:1017.
- Kim JH, RH Kim, HJ Youn, SW Lee, HT Choi, JJ Kim, CR Park and KD Kim. 2012. Valuation of nonmarket forest resources. *J. Korean Inst. For. Recreat.* 16:9-18.
- KAST. 2014. A study on the selection of planted tree species suitable for forest ecology and environmental changes in North Korea. Korea Forest Service, Korean Academy of Science and Technology. Daejeon, Korea.
- KIEP. 2012. Benefit-Cost Analysis of ODA Projects. ODA policy studies 12-08. Korea Institute for International Economic Policy. Sejong, Korea.
- KOSIS. 2020. Consumer price index. Korea Statistical Information Service, Statistics Korea. Daejeon, Korea.
- Lee J, CH Lim, GS Kim, A Markandya, S Chowdhury, SJ Kim, WK Lee and Y Son. 2018. Economic viability of the national-scale forestation program: The case of success in the Republic of Korea. *Ecosyst Serv.* 29:40-46.
- Lee SG, HA Choi, H Yoo, S Song, S Cha, SW Bae, Y Son and WK Lee. 2018. Restoration plan for degraded forest in the democratic people's Republic of Korea considering suitable tree species and spatial distribution. *Sustainability* 10:856.
- Lim CH, Y Choi, M Kim, SW Jeon and WK Lee. 2017. Impact of deforestation on agro-environmental variables in cropland, North Korea. *Sustainability* 9:1354.
- Lim CH, C Song, Y Choi, SW Jeon and WK Lee. 2019. Decoupling of forest water supply and agricultural water demand attributable to deforestation in North Korea. *J Environ. Manage.* 248:109256.
- Ministry of Unification. 2019. Environmental Policy under Kim Jung Un's Regime. Ministry of Unification. Seoul.
- NIFoS. 2020. Results and Implications of Forestry Public Function Evaluation: 2018. Forest Policy Issue 137:1-29.
- Oh YC. 2012. A study on the UNFCCC forestry mechanism in North Korea. Ph.D. Dissertation. Seoul National University. Seoul.
- Piao D, WK Lee, Y Zhu, M Kim and C Song. 2016. Assessment of Forest Degradation and Carbon Storage for REDD+ Project in North Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 34:1-7.
- Podolak K, D Edelson, S Kruse, B Aylward, M Zimring and N Wobbrock. 2015. Estimating the Water Supply Benefits from Forest Restoration in the Northern Sierra Nevada. An Unpublished Report of the Nature Conservancy Prepared with Ecosystem Economics. The Nature Conservancy. San Francisco, CA.
- Song XP, PY Tan, P Edwards and D Richards. 2018. The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. *Urban For Urban Green* 29:162-170.
- US Government. 2016. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, US Government.