

# 산림 재해로 훼손된 산림복원을 위한 속성별 지불의사액 추정: 선호 이질성과 리스크 속성 처리 방법에 따른 혼합/조건부 로짓모형 결과 비교

전철현\*

## Contents

1. 서론	157
2. 선택실험법의 이론적 배경	158
3. 실증 분석 및 결과	160
4. 결론	173

## Keywords

산림 재해(forest disasters), 산림복원(forest restoration), 선택실험법(choice experiment), 지불의사액(willingness to pay), 혼합 로짓모형(mixed logit model)

## Abstract

본 연구는 재해로 훼손된 산림복원과 생태계서비스의 지속적 공급을 위한 정책 수립에 있어, 선택실험법을 적용하여 속성별 지불의사액을 추정하고, 선호 이질성과 리스크 속성 처리 방법에 따른 결과를 비교하는 데 목적이 있다. 이에 혼합 로짓모형과 조건부 로짓모형 I (연속 변수 코딩)과 II (더미 코딩)을 적용하였다. 분석 결과, 혼합 로짓모형에서는 응답자 간 선호 이질성이 확인되었으며, 산불과 병해충 속성에서 각각 10,570원과 8,360원의 지불의사액이 추정되었다. 조건부 로짓모형 I 에서는 산불 13,483원, 병해충 9,236원의 지불의사액이 도출되었으며, 두 모형의 결과는 일반적인 이론적 기대와 부합하였다. 반면 조건부 로짓모형 II 에서는 일부 리스크 속성에서 음(-)의 부호가 나타났으며, 통계적으로 유의한 수준을 중심으로 산불 '관심 단계'에서 6,589원, 병해충 '주의 단계'에서 6,513원의 지불의사액이 추정되었다. 산림 관련 야외 활동 제한 속성에서는 '제약 없음'에서 제약이 시작되는 단계에서 8,014원의 가장 높은 지불의사액이 도출되었다. 이러한 결과는 리스크 속성과 효용 간의 관계, 위험회피 성향, 비용 부담과 위험 감소 간의 상충 관계 및 변수 코딩 방식의 차이에 기인한 것으로 해석된다. 이러한 연구 결과는 산림 재해 대응 예산 및 산림복원 정책 수립에 있어 경제적 타당성과 정책 수용성을 뒷받침하는 근거를 제공하며, 리스크 속성 해석에 대한 실증적 시사점을 제시한다.

\* 국립산림과학원 산림전략연구과 임업연구사, 단독저자. e-mail: ecoecon@korea.kr

# Estimating willingness to pay for attributes to restore forests degraded by forest disasters: A comparison of mixed and conditional logit model results on preference heterogeneity and risk attribute treatment

Jeon, Chul-hyun\*

## Keywords

forest disasters, forest restoration, choice experiment, willingness to pay, mixed logit model

## Abstract

This study aims to estimate the willingness to pay (WTP) for attributes related to forest restoration and the continuous supply of ecosystem services by forest disasters, such as wildfires and pests. Using a choice experiment approach, WTP estimates were compared across different methods for handling preference heterogeneity and coding of risk attributes. Two coding approaches were employed: continuous variable coding (conditional logit model I) and dummy coding (conditional logit model II). The mixed logit model revealed substantial preference heterogeneity among respondents, with WTP estimates of KRW 10,570 for wildfire risk reduction and KRW 8,360 for pest risk reduction. In conditional logit model I, the corresponding WTP estimates were KRW 13,483 for wildfires and KRW 9,236 for pests. In conditional logit model II, focusing on statistically significant levels, the WTP for the safest wildfire scenario (interest level) was estimated at KRW 6,589, while the WTP for pest risk reduction at the second safest level (caution level) was KRW 6,513. For forest outdoor activity restrictions, representing a preventive management measure targeting human behaviors associated with forest disasters, the highest WTP (KRW 8,014) was observed when restrictions were introduced from a no-restriction baseline. The results from the mixed logit and conditional logit model I were consistent with conventional expectations, whereas conditional logit model II produced negative coefficients for wildfire and pest risk attributes at certain levels. These findings were interpreted in terms of risk aversion, trade-offs between cost and risk, and model-specific characteristics related to cost-benefit balance. Overall, the findings provide economic evidence to support budget allocation decisions in forest disaster response policies and contribute to a understanding of risk attributes in stated preference studies.

---

\* Research Scientist (Ph.D.), National Institute of Forest Science, Dongdaemun-Gu, Seoul, Korea, Sole author.  
e-mail: [ecoecon@korea.kr](mailto:ecoecon@korea.kr)

## 1. 서론

건강한 산림은 식량과 목재 제공(공급 서비스), 기후 조절과 수질 정화(조절 서비스), 여가·심미적 가치(문화 서비스), 생물다양성 유지(지지 서비스) 등 다양한 생태계서비스를 지속적으로 제공하며 삶의 질 향상에 기여한다(MA, 2005; Taye et al., 2021). 우리나라 산림은 양적·질적으로 성장했지만, 최근 기후변화와 인간 활동의 증가로 산불, 산사태, 병해충 등 산림 재해가 빈번해지고 있으며 피해 규모도 증가하고 있다. 예컨대 2025년 경북 지역에서는 등산객의 부주의로 약 10만 헥타르의 산림이 소실되는 대형 산불이 발생하여 경제적 피해뿐만 아니라 생물다양성 손실과 산림 생태계 서비스에 매우 심각한 손실을 초래하였다(산림청, 2025; Olson, 2006; Tadesse et al., 2022).

이러한 산림 재해는 기후변화에 의해 더욱 악화될 것으로 예상되며(Marbuah et al., 2014; Niquidet et al., 2015), 산림 생태계 기능 저하와 사회·경제적 손실로 이어지게 된다. 현재 우리나라의 울창한 산림은 지난 수십 년간 지속된 조림 및 복원 정책의 결과이며, UN이 인정한 대표적인 산림복원 성공 국가로 평가되고 있다(Park & Lee, 2014; Brown, 2009). 김기동 외(2020)는 우리나라 산림의 연간 공익적 편익 가치를 약 259조 원으로 추정하였으며, 이는 우리나라 국민총생산의 13.3% 수준에 해당한다. 그러나 산불이나 산림병해충에 의해 훼손이 다시 증가하는 상황에서 훼손된 산림을 효과적으로 복원하고, 생태계서비스를 유지·증진하기 위한 산림복원 정책 및 관리가 시급한 상황이다(IPCC, 2022).<sup>1)</sup> 특히 산불 및 병해충 등 산림 재해에 대응하기 위한 복원 정책은 상당한 예산이 소요되므로, 시민 수요와 정책 수용성에 기반한 경제적 타당성 검토가 필수적일 수 있다(Hanley et al., 2019; Thompson et al., 2016). 그럼에도 불구하고 해외에서는 산림 재해 이후 복원의 경제적 편익과 시민 선호를 체계적으로 분석한 연구가 축적되어 온 반면(Bateman et al., 2013; Verkerk et al., 2018), 국내에서는 산림 재해를 명시적으로 고려한 경제적 편익 추정이나 시민 인식 분석이 충분히 이루어지지 못한 실정이다(김태균·이상민, 2014; 박경석 외, 2018).

산림 재해나 환경리스크와 관련된 선택실험법(choice experiments) 연구에서는 대체로 리스크 속성은 효용에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Diendere & Kabore, 2023; Reynaud & Nguyen, 2016). 그리고 국내에서는 장진(2019), 최성록·박은진(2010), 최성록·엄영숙(2018) 등의 연구에서 생물다양성의 경제적 가치 추정을 하였으며, 산림생물다양성 및 복원 정책의 필요성을 강조하였다. 이에 본 연구에서는 선택실험법을 활용하여 산불 및 병해충 등을 주요 속성으로, 생태계서비스와 생물다양성 손실 등 다양한 속성을 포함하여, 혼합 로짓모형(mixed logit)을 이용해 선호의 이질성 분석과 지불의사액(willingness to pay)을 추정하고자 하였다(유병국, 2012). 아울러 동일한 리스크 속성을 범주형(더미) 변수와 연속형 변수로 코딩 분석하여, 표현(입력) 방식의 차이에 의한 지불의사액

<sup>1)</sup> 이 연구에서 산림복원 정책은 산림 재해 이후의 협의의 복원뿐만 아니라 산불 및 병해충 위험을 저감하기 위한 예방적 관리와 사후 복구를 포괄하는 광의적인 산림 관리 정책 패키지를 지칭한다.

추정 결과를 살펴보고자 조건부 로짓모형을 동시에 적용하고자 하였다.

이에 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 산림복원 정책은 시민들의 환경 선호에 따라 지불의사액에 차이가 발생할 수 있어 통계 모형을 이용하여 선호 이질성을 분석하고 둘째, 동일 속성에 대해 리스크 표현 방식에 따른 지불의사액 추정 결과를 비교하여 경제학적인 시사점을 도출하고자 한다. 이러한 연구 결과는 산림 재해 대응을 위한 복원정책의 수요 기반 근거를 제공하고, 향후 효과적인 예산 배분 및 정책 수용성 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 선택실험법의 이론적 배경

선택실험법은 진술선호법(stated preference) 중의 하나로 이산선택분석(discrete choice analysis)의 한 형태로 분류된다(Train, 2009). 이 방법은 확률 효용 최대화(random utility maximization)에 기반을 두고 있으며, 응답자는 여러 선택지 중에서 자신의 효용을 극대화하는 대안을 선택한다고 가정한다(Manski, 1977).

일반적으로 효용함수는 관측할 수 있는 결정요인과 관측 불가능한 오차항으로 구성된다. 개별 응답자( $n$ )는 선택 상황에서, 대안( $j$ )의 효용( $U_{nj}$ )은 식 (1)과 같다.

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (1)$$

여기서  $V_{nj}$ 는 대안  $j$ 의 관측 가능한 속성에 따른 효용이며,  $\epsilon_{nj}$ 는 오차항으로서 독립적이고 동일한 분포의 Type I 극댓값 분포를 가진다고 가정된다. 이때 분산은  $\mu^2$ 이며, 일반적으로  $\mu = 1$ 로 설정된다. 본 연구에서 주요 속성들을 반영한 간접효용함수는 식 (2)와 같다.

$$V_{nj} = \beta_1 x_{1nj} + \beta_2 x_{2nj} + \dots + \beta_k x_{knj} + \gamma_j ASC_j \quad (2)$$

여기서  $x_{knj}$ 는 속성  $k$ , 대안  $j$ 에 해당하는 값이며,  $\beta_k$ 는 이에 대한 한계효용(marginal utility)을 나타낸다.  $ASC_j$ 는 대안 특성 상수(alternative-specific constant)로, 선택지에 명시되지 않은 속성의 평균적인 효과를 나타낸다. 일반적으로 현재 상태(status quo) 옵션에 ASC를 부여하여 기준으로 설정한다.

한편, 본 연구에서는 개인 간 선호의 이질성을 반영하기 위해 혼합 로짓(mixed logit)모형을 병행하여 사용한다. 이 모형에서는 일부 계수를 확률분포를 따르는 무작위 변수로 설정함으로써

응답자 간의 선호 차이를 반영할 수 있다(Hensher et al., 2015).

본 연구에서는 속성 데이터의 입력 방식에 따라 연속 또는 더미 형태로 코딩하였다. 예를 들어, 속성을 연속 변수로 처리한 경우 식 (3)과 같다.

$$V_{nj} = \beta_1 FIRE_j + \beta_2 PEST_j + \beta_3 RESTRN_j + \beta_4 BIODIV_j + \beta_5 COST + \gamma_j ASC_j \quad (3)$$

반면, 위 식 (3)의 속성을 더미 변수로 처리할 경우에는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{nj} &= \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 + \dots + \beta_k COST_j + \gamma_j ASC_j \quad (4) \\ &= \beta_1 D_{산불\경계} + \beta_2 D_{산불\주의} + \beta_3 D_{산불\관심} \\ &\quad + \beta_4 D_{병해\중\경계} + \beta_5 D_{병해\중\주의} + \beta_6 D_{병해\중\관심} \\ &\quad + \beta_7 D_{산림\접근\제한\약} + \beta_8 D_{산림\접근\제한\중} + \beta_9 D_{산림\접근\제한\강} \\ &\quad + \beta_{10} D_{생물\다양성\손실\약} + \beta_{11} D_{생물\다양성\손실\중} \\ &\quad + \beta_{12} D_{생물\다양성\손실\대} + \beta_{13} D_{산림\복원\기금\수준} + \gamma_j ASC_j \end{aligned}$$

표 1. 산불의 속성과 수준에 대한 연속 변수 처리와 더미 코딩 입력 예제

속성 및 수준	연속 변수 (continuous)	더미 변수(dummy)			
		더미 1	더미 2	더미 3	더미 4
산불 1(심각, 85 ↑)	85	1	0	0	0
산불 2(경계 66~84)	70	0	1	0	0
산불 3(주의, 51~65)	60	0	0	1	0
산불 4(관심, 51 ↓)	50	0	0	0	1

그리고 응답자(n)이 대안 j를 선택할 확률은 식 (5)와 같다.

$$P_{nj} = \frac{\exp(V_{nj})}{\sum_{k \in C_n} \exp(V_{nk})} \quad (5)$$

여기서  $C_n$ 은 응답자(n)이 선택 가능한 대안의 집합이다. 전체 응답자들의 선택 확률을 곱한 로그 우도(log-likelihood)는 식 (6)과 같다.

$$L = \prod_{n=1}^N \prod_{j=1}^J p_{nj}^{y_{nj}} \quad (6)$$

한편, 속성별 지불의사액은 비용(가격)<sup>2</sup> 항의 추정 계수로 비화폐 속성의 계수를 나누는 방식

(식 (7))으로 계산된다(Mariel et al., 2021).

$$\text{평균 지불의사액(WTP)} = - \frac{\beta_{\text{비화폐 속성}}}{\beta_{\text{화폐 속성}}} \quad (7)$$

이때,  $\beta_k$ 는 비화폐 속성의 계수이며,  $\beta_{\text{cosf}}$ 는 화폐 속성(복원 비용)의 계수이다. 그리고 모형 분석 시에는 패키지 요구에 맞는 데이터 구조(가로/세로)로 데이터를 변환해야 하는 과정을 거쳐야 한다.

### 3. 실증 분석 및 결과

#### 3.1. 실험 설계 배경 및 시나리오 설정

우리나라는 한국전 이후 급격한 산림 훼손을 극복하고 산림 녹화와 경제성장을 동시에 달성한 국가로, 건강한 산림은 다양한 생태계서비스를 제공함으로써 국민 삶의 질 향상에 기여하고 있다(김기동 외, 2020). 특히, 임목축적은 1980년 기준 ha당 23.09m<sup>3</sup>에서 2020년 162.0m<sup>3</sup>로 증가하며 OECD 평균보다 약 27%포인트 높은 수준을 기록하고 있으며, 연간 약 1,500만 명 이상이 자연휴양림을 방문하는 등 산림을 통한 국민 여가 활동과 편익도 지속적으로 증가하고 있다(산림청, 2024).

그러나 최근 기후변화에 따른 산불 및 병해충의 빈번한 발생과 그 피해 규모의 대형화는 산림 생태계의 건강성과 기능성에 중대한 위협 요인으로 작용하고 있다. 예컨대, 산불 발생 건수는 2010년 282건에서 2022년 756건으로 증가하였으며, 이로 인한 건당 평균 피해액도 1,500만 원에서 17.8억 원으로 매우 크게 증가하였다. 또한 소나무재선충병 확산으로 인해 1988년 이후 약 1,200만 그루의 소나무가 피해를 보았으며, 이는 생물다양성 손실로도 이어지고 있다(FAO, 2020b). 이와 같은 산림 생태계의 위협 요인은 장기적으로 생태계서비스 지속적인 공급을 저해할 뿐만 아니라, 이에 대응하기 위한 산림 복원 및 관리 정책의 필요성을 더욱 부각시키고 있다. 특히 공공재적 성격이 강한 산림의 특성상 안정적인 재정 확보와 시민의 산림복원 정책에 대한 선호의 이질성과 수용성에 대한 고려가 이루어져야 한다.

본 연구는 전국 시민을 대상으로 산림 생태계서비스 훼손에 대한 대응 정책의 선호를 파악하고, 복원 및 관리 방안에 대한 속성별 지불의사액을 추정하기 위하여 선택실험법을 활용하였다. 그리고 본 연구에서 설정한 '산림복원 정책'은 산불 및 산림병해충 발생 이후의 피해지 복구에 국한된 협의의 복원(restoration) 개념만을 의미하지 않으며, 시나리오는 산림 재해로 인한 위험을 저감하고 생태계서비

2) 평균 지불의사액을 추정할 수 있는 R 패키지는 support.CEs이며 다음 링크에서 이용할 수 있음(<https://cran.r-project.org/web/packages/support.CEs/index.html>).

스의 지속적인 공급을 도모하기 위한 예방적 관리(preventive management)와 사후 복구 조치를 포괄하는 광의의 산림관리 정책 패키지로 정의된다. 구체적으로는 산불 및 병해충 위험 수준의 완화, 산림 접근 관리, 생물다양성 손실 저감, 그리고 이를 실현하기 위한 재정적 수단을 포함한다. 다만, 선택실험법의 특성상 간벌, 방화선 조성 등 개별 관리 수단을 각각의 정책 대안으로 분리하여 제시하기보다는, 시민이 체감하기 용이한 '위험 수준 변화'와 '관리 강도의 차이'를 중심으로 정책 결과(outcome-based scenario)를 제시하였다. 따라서 본 연구는 특정 관리 수단의 기술적 효과를 비교하기보다 산림 재해 위험 완화와 관련된 정책 결과에 대해 시민들이 어떠한 선호와 지불의사액을 보이는지를 분석하는 데 목적이 있다.

또한, 실험 설계에는 산림청의 관련 법·제도 및 통계자료를 기초로 사용하였으며, 위험 요인과 정책 대응 속성들은 산불 위험, 산림병해충 위험, 산림 관련 야외활동 제한, 생물다양성 손실, 산림복원 기금을 고려하였다. 각 속성은 현행 제도 및 현실에서 발생할 수 있는 시나리오에 기반하여 4단계 수준으로 구성되었다(표 2 참조).

설문 디자인과 시나리오의 흐름을 요약하면, 우리나라 현재 산림 상황은 사람들의 인위적인 활동과 산림 재해 요인으로 악화한 상태로 지속 가능한 산림생태계서비스 공급을 위해서는 산림복원(산림복원 기금 재원)이 필요하며, 산림복원으로 개선된 상태(대안 A와 B)와 현재 상황(대안 C) 중에서 응답자가 선호하는 대안을 선택하도록 설계하였다.

















### 3.2. 실험 속성, 수준 설정 및 설계

본 연구에서 사용된 선택실험의 주요 속성은 산림 생태계서비스 훼손의 원인과 정책 대응의 핵심 요인을 반영하도록 구성되었으며, 각각은 다음과 같은 수준으로 구체화하였다. 속성은 총 다섯 가지로 산불 위험, 산림병해충 위험, 산림 관련 야외 활동 제한, 생물다양성 손실, 산림복원 기금이다. 각 속성은 문헌조사, 전문가 자문 및 정책자료 분석을 바탕으로 선정되었으며, 실험의 현실성을 확보하기 위해 실제 발생 가능성이 높은 수준별 시나리오를 설계하였다. 다만, 향후 연구에서는 여기서 고려하고 있는 속성들은 서로 상관관계가 있어 그러한 영향이 지불의사액에는 어떤 영향을 미치는지 계량경제학적인 측면에서 살펴볼 필요가 있다.

첫째, 산불속성과 수준과 관련하여, 우리나라의 산불경계시스템은 산림보호법 상에 4 단계로 구성되어 있는데, '심각(85 이상)', '경계(66~84)', '주의(51~65)', '관심(51 미만)'이다. 산림보호법에서 위험 수준의 결정은 산불 발생 가능성, 확산 위험, 대응 필요성을 종합하여 이루어진다. 최근 우리나라 산불 발생 빈도의 증가와 대형화하는 경향을 반영하고, 산불 발생의 원인의 대부분이 사람들의 부주의한 행위 때문에 발생하고 있는 상황을 고려하여, '심각 단계'를 현재 상태(status quo: sq)로 가정하였다. 추가로 이 연구에서는 각 위험 수준 변화가 현실에서 정확히 어느 정도의 발생 확률 감소 또는 피해 면

적 축소를 의미하는지를 정량적으로 제시하기보다는, 산림 재해 대응 정책에 따른 체감 위험 변화에 대한 시민 선호와 지불의사액을 분석하는 데 초점을 두고 있다.

표 2. 주요 속성과 수준, 현재 상태 등 산림복원을 위한 선택실험 시나리오 설정

속성 \ 수준	심각 단계(현재 상태)*	경계 단계	주의 단계	관심 단계
산불 위험	 (매우 높음, 85 ↑)	 (높음, 66~84)	 (중간, 51~65)	 (낮음, 51 ↓)
산림병해충 위험	심각 단계(현재 상태)* 	경계 단계 	주의 단계 	관심 단계 
산림 야외 활동 제한	제한 없음(현재 상태)*  (인원 제약 없음)	다소 제한적 영향(약)  (0~1백만 명 제한)	크게 제한적 영향(중)  (1백만~2백만 명 제한)	매우 제한적 영향(강)  (2백만~5백만 명 제한)
생물다양성 손실 (소나무 개체수)	매우 큰 손실(현재 상태)*  (3십만~4십만 그루)	큰 손실(대)  (2십만~3십만 그루)	다소 손실(중)  (1십만~2십만 그루)	미미한 손실(약)  (0~1십만 그루)
산림복원 기금	현재 상태* 0원	다소 증가 10,000~25,000원 미만	크게 증가 25,000~35,000원 미만	매우 증가 35,000~50,000원 미만

주: \*는 베이스라인인 현재 상태(sq)를 나타냄.

둘째, 산림병해충 위험 수준도 산불과 마찬가지로 산림보호법에서 네 단계(‘관심’, ‘주의’, ‘경계’, ‘심각’)로 설정되어 있다. 이를 반영하여 이 연구에서도 4단계로 구성하고 있다. 여기서는 소나무재선충병 사례를 바탕으로 구체화하였는데<sup>3)</sup>, 그 이유는 소나무재선충병으로 전국에 걸쳐 약 1,200만 그루의 소나무 피해가 직·간접적으로 발생한 것으로 추정되기 때문이다(Zhao et al., 2020; Kwon et al., 2011). 소나무재선충병은 감염된 일본산 나무 팔레트로부터 유입된 것으로 부산에서 시작해 전국으로 확산하였다. 이러한 상황을 고려하여, 현재 산림 생태계가 훼손된 상황임을 고려하여 ‘심각 단계(sq)’로 현재 상태를 가정하였다. 추가로 산림병해충 위험 수준 역시 산불 위험과 동일하게 특정 단일 생물학적 지표나 발생률 수치를 직접 반영한 값이라기보다는, 병해충 발생 정도와 확산 가능성을 종합적으로 고려한 정책적 위험 단계를 의미한다. 본 연구에서는 소나무재선충병 사례를 중심으로, 방제 필요성 및

3) 미국 식물병리학회. <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/nematode/pdlessons/Pages/PineWilt.aspx>

피해 심각도를 시민이 직관적으로 인식할 수 있도록 수준을 구성하였다. 이러한 접근은 병해충 발생률, 피해 면적, 고사목 비율 등 다양한 지표를 단일 수치로 환산하기 어려운 현실적 제약을 고려한 설계상의 선택이다.

셋째, 산림 관련 야외 활동 제한 수준(혹은 산림접근제한)은 산불 발생 억제, 산림 보존 및 피해 확산 방지를 위해 부득이하게 적용되는 제한 조치를 반영하였다. 그 이유는 산불 발생의 대부분이 인간의 인위적인 활동에 기인하며 이를 통제하면 산불 발생 리스크를 감소시킬 수 있으며, 소나무재선충은 실제로 지역 주민들의 재선충 감염목의 무단 이동으로 확산하기도 하기 때문이다(산림청, 2024). 수준은 ‘인원 제한 없음’, ‘0~1백만 명 활동 제한’, ‘1백만~2백만 명 활동 제한’, ‘2백만~5백만 명 활동 제한’으로 구성된다. 이는 실질적으로 시민의 산림 접근성과 여가 활동에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 산림 당국에 의해 현재 산림 접근에 대한 ‘제한이 없는(sq) 상황’에서 점차 강화하는 상황으로 가정하였다.

그림 1. 지속 가능한 산림 생태계서비스 공급을 위한 산림복원 선택실험 예제

선택실험법 예시 설명

아래의 그림(왼쪽)에서 주요 속성과 수준을 살펴보고, ①대안 1, ②대안 2, ③현재상황(대안 3) 중에서 본인이 선호하는 대안은 무엇입니까?

속성(요인), 수준 및 시나리오 설명		①	②	③								
속성(변수)	현재 상황(대안 3) → 대안 1, 대안 2	대안 1	대안 2	현재 상황(대안 3)								
산불위험(4 단계: 심각→관심)	<table border="1"> <tr> <th>심각단계(현재상태)</th> <th>경계단계</th> <th>주의단계</th> <th>관심단계</th> </tr> <tr> <td> (매우 높음, 85 이상)</td> <td> (높음, 66-85 이하)</td> <td> (중간, 51-65)</td> <td> (낮음, 5 이하)</td> </tr> </table>	심각단계(현재상태)	경계단계	주의단계	관심단계	(매우 높음, 85 이상)	(높음, 66-85 이하)	(중간, 51-65)	(낮음, 5 이하)	(경계)	(주의)	(심각)
심각단계(현재상태)	경계단계	주의단계	관심단계									
(매우 높음, 85 이상)	(높음, 66-85 이하)	(중간, 51-65)	(낮음, 5 이하)									
산림병해충 위험(4 단계: 심각→관심)	<table border="1"> <tr> <th>심각단계(현재상태)</th> <th>경계단계</th> <th>주의단계</th> <th>관심단계</th> </tr> <tr> <td> (매우 위험)</td> <td> (위험)</td> <td> (중간위험)</td> <td> (관심)</td> </tr> </table>	심각단계(현재상태)	경계단계	주의단계	관심단계	(매우 위험)	(위험)	(중간위험)	(관심)	(경계)	(관심)	(심각)
심각단계(현재상태)	경계단계	주의단계	관심단계									
(매우 위험)	(위험)	(중간위험)	(관심)									
산림관련 야외 활동제한(4 단계: 없음→제한강화)	<table border="1"> <tr> <th>제한없음(현재상태)</th> <th>다소 제한적 영향</th> <th>크게 제한적 영향</th> <th>매우 제한적 영향</th> </tr> <tr> <td> (0명 제한)</td> <td> (0~1백만 명 제한)</td> <td> (1백만~2백만 명 제한)</td> <td> (2백만~5백만 명 제한)</td> </tr> </table>	제한없음(현재상태)	다소 제한적 영향	크게 제한적 영향	매우 제한적 영향	(0명 제한)	(0~1백만 명 제한)	(1백만~2백만 명 제한)	(2백만~5백만 명 제한)	(매우제한적→약간강화)	(제한 없음)	(제한 없음)
제한없음(현재상태)	다소 제한적 영향	크게 제한적 영향	매우 제한적 영향									
(0명 제한)	(0~1백만 명 제한)	(1백만~2백만 명 제한)	(2백만~5백만 명 제한)									
산림생물다양성손실 (4 단계: 유손실→손실무)	<table border="1"> <tr> <th>매우큰 손실(현재상태)</th> <th>크게 손실</th> <th>다소 손실</th> <th>미미한 손실</th> </tr> <tr> <td> (3십만~4십만 그루)</td> <td> (2십만~3십만 그루)</td> <td> (1십만~2십만 그루)</td> <td> (0~1십만 그루)</td> </tr> </table>	매우큰 손실(현재상태)	크게 손실	다소 손실	미미한 손실	(3십만~4십만 그루)	(2십만~3십만 그루)	(1십만~2십만 그루)	(0~1십만 그루)	(미미한손실→4십만그루)	(미미한손실→1십만 그루)	(매우큰손실→3십만~4십만그루)
매우큰 손실(현재상태)	크게 손실	다소 손실	미미한 손실									
(3십만~4십만 그루)	(2십만~3십만 그루)	(1십만~2십만 그루)	(0~1십만 그루)									
산림복원기금 (0 단계: 0원~5만원)	<table border="1"> <tr> <th>약간 증가</th> <th>다소 증가</th> <th>크게 증가</th> <th>매우 증가</th> </tr> <tr> <td>0원~10,000 원</td> <td>10,100 원~25,000 원</td> <td>25,100 원~35,000 원</td> <td>35,100 원~50,000 원</td> </tr> </table>	약간 증가	다소 증가	크게 증가	매우 증가	0원~10,000 원	10,100 원~25,000 원	25,100 원~35,000 원	35,100 원~50,000 원	(5,000 원)	(35,000 원)	0 원
약간 증가	다소 증가	크게 증가	매우 증가									
0원~10,000 원	10,100 원~25,000 원	25,100 원~35,000 원	35,100 원~50,000 원									

넷째, 생물다양성 손실 수준은 산림 생태계의 기능성 유지와 직결되는 속성으로, 우리나라 국민들이 가장 선호하는 나무로 대표성을 갖고 있는 소나무 개체수 손실로 선택하였다. 수준은 ‘3십만~4십만 그루’, ‘2십만~3십만 그루’, ‘1십만~2십만 그루’, ‘0~1십만 그루’로 구분하였다. 여기서는 현재 상태를 ‘3십만~4십만 그루(sq)’로 가정하였다. 이는 생물다양성 손실을 직접적으로 측정하기 어려운 한계로 인해, 국민 인식 측면에서 대표성이 높은 소나무 개체수 손실을 생물다양성 변화의 대리 지표(proxy)로 활용하였다. 이는 산림 재해와 관련된 언론 보도와 정책 담론에서 소나무 피해가 생태계 훼손의 상징적 지표로 빈번히 사용되고 있다는 점을 고려한 설계상의 선택이다. 다만, 특정 수종의 개체수 증감이 산림 생태계 전반의 생물다양성 변화를 완전히 대변하지 못하며, 단일 수종 중심의 복원 또는 관리가 오

히려 종 다양성이나 구조적 다양성을 저해할 가능성이 있다는 점은 본 연구의 중요한 한계이다. 따라서 본 연구에서의 ‘생물다양성’ 속성은 생태학적 의미에서의 엄밀한 종 다양성이나 서식지 복잡성을 직접 측정된 지표라기보다는, 시민 인식에 기반한 상징적·체감적 생태계 훼손 수준으로 해석될 수 있다.

마지막으로, 산림복원 기금은 응답자가 제시된 시나리오를 실현하기 위해 정부가 산림복원을 위해 1년에 한 번 추가적인 일시불로 산림복원 기금(가구 기준)을 조성하는 것으로 가정하였다. 속성의 수준 단계는 ‘0원(현 상태 유지)’을 기준으로 조성 단위는 0원~최대 5만 원까지로 구성하였고, 5천 원 단위로 구분하였다. 이는 비용-편익 간의 균형을 고려한 지불의사액 추정에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.<sup>4)</sup> 참고로, 2020년 가구당 산림청 예산은 약 6,019원이었다. 추가로, 산림복원 기금은 정책 효과를 비교하기 위한 가상의 재정 수단으로 설정되었으며, 가구당 연 1회 일시불 부담을 가정하였다. 이는 응답자의 인지 부담을 최소화하고, 각 정책 시나리오 간 비용-편익 비교를 단순화하기 위한 설계상의 선택이다. 또한 본 연구는 세부적인 징수 방식이나 제도 설계를 평가하기보다는, 산림 재해 위험 완화와 생태계서비스 개선에 대해 시민이 어느 정도의 비용 부담을 수용할 의향이 있는지를 파악하는 데 목적이 있다. 본 연구의 현재 상태(sq)는 실제 미래 상태를 예측하기 위한 시나리오가 아니라, 정책 개입 유무를 대비하기 위한 반사실적 비교 기준(counterfactual reference point)으로 설정되었다. 따라서 복원기금 미납이 특정 산림 상태를 반드시 초래한다는 인과적 해석을 의미하지 않는다.

실험 설계 디자인<sup>5)</sup>과 관련하여 속성을 고르게 분포하도록 반복적인 작업을 진행하였고, 효율 설계 디자인(efficient design)을 활용하여 총 200개의 선택 질문 초이스 셋을 만들었다(Shang and Chandra, 2023; Hensher et al., 2015; Everitt & Hothorn, 2010). 그 이유는 다양한 각각의 응답자들에게 다양한 형태의 선택 질문 초이스 셋을 제시하여 보다 현실에 가까운 정확한 선택 행태를 반영하기 위한 것이다. 그리고 이는 블록 설계보다 더 현실적인 설계 디자인 방법이며, 파라미터 추정치의 효율성을 극대화해 주는 디자인 방법이다(Train, 2009). 그리고 전체적으로 속성과 수준을 가능한 한 균등하게 배분토록 반복 작업을 진행하였다. 설문 설계 디자인 값을 나타내는 D-error는 0.101, A-error 값은 0.192, S-error 값은 9.67이었다(Hensher et al., 2015; Johnston et al., 2017). 이러한 값들은 설계가 효율적으로 이루어졌으며, 분산이 낮고, 상대적으로 표준오차가 낮도록 설계가 잘 되었다는 것이다. 이를 위하여 사전조사를 진행하였다.

그림 1(예제)을 보면, 모든 속성과 수준의 시각적인 효과를 극대화하고자 각 대안에 대해서 응답자들

4) 산림복원 기금의 조성을 1년 한시적으로 설정한 것은 산불과 산림병해충 발생이 최근 증가 추세이기는 하나 연도별로 불규칙하게 발생하기 때문에 그 피해가 지속된다고 하더라도, 몇 년 단위로 걸쳐서 설정하는 것에는 오히려 불확실성이 포함될 수 있기 때문이다. 그리고 이러한 설정은 국립산림과학원 담당자들과의 토의와 선행 연구(유진채 외, 2010)를 반영한 것이다.

5) 본 연구에서 사용된 패키지는 총 24개임(“parallel”, “randtoolbox”, “msm”, “MASS”, “matrixStats”, “Rfast”, “maxLik”, “trustOptim”, “numDeriv”, “haven”, “pryr”, “dplyr”, “readr”, “stringr”, “lubridate”, “tidyverse”, “fastDummies”, “matrixcalc”, “foreach”, “doMC”, “tidyverse”, “usethis”, “lubridate”, “evd”). 이 패키지를 이용하여 최종 초이스 셋을 선정하기 위하여 수백 번 이상 반복적으로 시행해서 속성과 수준에 편중되지 않도록 하였다. 그리고 초이스 셋 간에 큰 변화가 없거나 응답자가 선택하기 어려운 경우에는 다시 반복적으로 실행하였음. 최종적으로 200개의 초이스 셋이 설정되었음. 이 설계 디자인 과정은 시간과 노력이 많이 소모되지만 블록 디자인보다 훨씬 더 현실적인 설계 디자인이 가능함. 그리고 이 과정에서 파일럿 연구를 통해서 얻은 priors 값을 이용함.

이 현재 상황과 제시된 대안을 쉽게 비교해 볼 수 있도록 글보다는 숫자, 모양 등을 중심으로 디자인하였고, 직관적으로 이해할 수 있도록 하였다(Champ et al., 2017). 각 각의 선택 질문은 3개의 대안(대안 A, 대안 B, 대안 C(sq))으로 구성된다. 그리고 각 응답자에게는 총 10개의 선택 질문이 랜덤으로 중복되지 않도록 제시된다. 그리고 본 질문 이전에 이 연구의 시나리오 이해를 돕기 위한 정보가 제공되고, 선택 질문 이후에는 후속 질문과 일반적인 사회경제적 문항<sup>6)</sup>으로 구성된다. 본 선택 질문 이전에 cheap talk 세션을 추가하여 지불의사의 과대평가를 방지하도록 하였다(Mariel et al., 2021).<sup>7)</sup> 설문은 전문 조사 기관을 통해 조사원이 휴대용 테블릿을 활용하여 진행하였다(Hanley et al., 2001).

### 3.3. 분석 결과

#### 3.3.1. 사회경제적 특성 분석 결과

이번 선택실험 설문조사는 2023년 10월 한 달 동안 설문조사전문업체에서 진행하였고 약 1,021부(10,210개 선택)의 응답 자료를 얻었다.<sup>8)</sup> 설문조사 진행 시에 성별과 나이 비율을 고려하여 가능한 한편중되지 않도록 배분하였다. 표 (3)은 응답자들의 사회경제적 변수의 통계 값이다. 응답자 총 1,021명 중에서, 569명(55.7%)은 여성이며, 약 621명(60.8%)은 30~49세에 해당하였다. 응답자의 70% 이상은 대학 졸업자이며, 60% 정도는 정직원으로 일하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 약 40%는 평균적으로 약 3백~4백만 원대 사이의 소득 수준이었다. 지역별로는 서울 345부(33.8%), 인천/경기 290부(28.4%), 부산/울산/경남 140부(13.7%), 대구/경북 100부(9.8%), 충청 57부(5.6%), 전라 51부(5.0%), 강원 30부(2.9%), 제주 8부(0.8%)였다.

표 3. 응답자의 사회경제적 특성

변수		평균	표준편차	세부 내용 (N=1,021)
성별	1. 남성	1.56	0.497	452명(44.3%)
	2. 여성			569명(55.7%)
연령	1. 20~29세	2.6 (40.47)	1.16	178명(17.4%)
	2. 30~39세			352명(34.5%)
	3. 40~49세			269명(26.3%)
	4. 50~59세			140명(13.7%)
	5. 60세 이상			82명(8.0%)

<sup>6)</sup> 본 설문지 앞부분에 환경태도와 관련된 문항이 포함되어 있는데, 여기서는 생략함.

<sup>7)</sup> 사전 예비 조사에서 설문지 작성은 어렵지 않지만, 내용이 다소 많아서 설문지 전체를 마치는데 다소 길게 느껴졌다는 응답이 많았음. 그래서 도입 부분과 설문 중간에 제공되는 정보를 줄여서 15분 내외로 마칠 수 있도록 하였고, 초보자들도 쉽게 이해할 수 있도록 노력하였음.

<sup>8)</sup> 참고로, 우리나라 사회경제적 정보((kosis.kr)를 살펴보면 성비(남 49.4%, 여 49.6%), 연령 분포(20대-11.4%, 30대-13.1%, 40대-15.7%, 50대-17.1%, 60대 이상-27.3%), 교육 수준(고졸 이상 53%), 월 소득 수준(평균 439만 원)임. 국내 지역별 인구 분포는 서울 19.2%, 인천/경기 30.1%, 부산/울산/경남 15.1%, 대구/경북 10.0%, 충청 11.2%, 전라 10.0%, 강원 3.1%, 제주 1.3%임.

(계속)

변수		평균	표준편차	세부 내용 (N=1,021)
학력	1. 초등학교 졸업 이하	3.96	0.57	3명(0.3%)
	2. 중학교 졸업			7명(0.7%)
	3. 고등학교 졸업			146명(14.3%)
	4. 대학교 졸업			732명(71.7%)
	5. 대학원 이상			133명(13.0%)
직업	1. 학생	2.13	1.59	43명(4.2%)
	2. 회사원			613명(60.0%)
	3. 주부			173명(16.9%)
	4. 공무원			67명(6.6%)
	5. 실업자			64명(6.3%)
	6. 기타			61명(6.0%)
월간 소득 (원)	1. 2,000,000원 미만	3.23	1.34	112명(11.0%)
	2. 2,000,000~2,900,000원 미만			225명(22.0%)
	3. 3,000,000~3,900,000원 미만			265명(26.0%)
	4. 4,000,000~4,900,000원 미만			155명(15.2%)
	5. 5,000,000원 이상			264명(25.9%)

### 3.3.2. 후속 질문(follow-up) 응답 분석 결과

다음은 후속 질문 항목으로 주요 결과는 표 4와 같다. 각 문항은 5점 리커트 척도(1=전혀 그렇지 않다~5=매우 그렇다)를 이용하였다. 전반적으로 응답자들은 산림에 대한 관심 수준을 '보통'으로 인식하고 있었으며(평균 2.45점), 산림 보호의 중요성 자체를 강하게 부정하지는 않으나 적극적인 개인적 관여 의지는 제한적인 것으로 나타났다. 특히 '현재 경제적 여유가 없다'(평균 3.31점)와 '이미 충분한 세금을 내고 있으며 환경문제는 정부의 책임이다'(평균 3.43점)라는 응답은 개인의 추가적 비용 부담에 대한 저항과 정부 책임 인식이 비교적 강함을 시사한다. 이러한 태도는 선택실험에서 관찰된 지불수단별 선호 차이 및 opt-out 선택 경향을 해석하는 데 중요한 보조적 근거를 제공한다. 한편, 산불 및 산림 병해충 예방의 어려움(평균 2.76점)과 산림 생태계 서비스 위협 요인에 대한 인식 부족(평균 2.94점)은 산림 위험 관리에 대한 정보 비대칭이 존재함을 시사하며, 이는 위험 속성에 대한 WTP 추정치가 제한적으로 나타난 결과와도 일정 부분 부합한다. 종합적으로, 표 4의 후속 질문 결과는 산림 보호에 대한 태도, 정부 책임 인식, 비용 부담 회피 성향이 선택실험 결과에 반영된 응답 구조를 뒷받침하는 정성적 증거로 해석할 수 있다.

표 4. 후속 질문 응답 결과

질문 항목	평균	표준편차	최소	최대
1. 현재 경제적 여유가 없다.	3.31	0.99	1	5
2. 다른 대안을 고려할 수 있을 것 같다.	3.51	0.80	1	5
3. 산불이나 산림병해충을 막는 것은 불가능하다.	2.76	1.02	1	5
4. 산림 보호에 금전적 가치를 두고 싶지 않다.	2.67	1.07	1	5
5. 산림생태계 서비스의 위협요인을 알고 있지 못하다.	2.94	1.03	1	5
6. 세금 지불수단(산림복원 기금)이 마음에 들지 않는다.	3.01	1.05	1	5
7. 나는 충분한 세금을 내고 있다. 정부의 책임이다.	3.43	0.98	1	5
8. 이러한 산림복원 정책으로 내가 받는 산림 혜택이 충분하지 않다.	3.28	0.97	1	5
9. 나는 산림에 관심이 없다.	2.45	1.05	1	5

그리고 선택실험법에서는 일반적으로 결과수렴성(consequentiality)과 관련해서 두 가지 형태의 결과 수렴성<sup>9)</sup>이 논의된다(Carson et al., 2014; 이진권·황욱, 2020). 첫 번째는 이 정책과 관련된 것으로, ‘귀하의 응답이 실제로 이 산림복원 정책에 영향을 미칠 것으로 생각하십니까?’에 대한 질문과 관련하여, 응답자들은 ‘매우 그렇다’에 7.2%, ‘그렇다’에 42.9%, ‘보통’에 35.5%, ‘그렇지 않다’에 12.4%, ‘전혀 그렇지 않다’에 2.0%로 응답하였다. 요약하면, 응답자들의 반 정도가 수렴하는 경향을 보였다. 다음은 지불의사액에 대한 수렴성으로 ‘귀하의 응답이 이 산림복원 정책의 실제 가구당 추가 비용지불 여부에 영향을 미칠 것으로 생각하십니까?’에 대한 질문과 관련하여, ‘매우 그렇다’에 8.8%, ‘그렇다’에 39.3%, ‘보통’에 35.3%, ‘그렇지 않다’에 15.0%, ‘전혀 그렇지 않다’에 1.7%로 응답하였다. 여기서 ‘보통’ 응답을 제외하면, 긍정적인 답변 비율(48.1%)이 부정적인 답변 비율(16.7%)보다 월등히 높은 비율을 보여 지불의사액 부분도 결과 수렴성을 보인다.

### 3.3.3. 훼손된 산림복원을 위한 지불의사액과 모형 추정 결과<sup>10)</sup>

여기서 사용된 모형은 총 세 가지로 혼합 로짓모형과 조건부 로짓모형 I 과 II로 구분된다. 첫째, 혼합 로짓모형은 응답자의 환경 선호에 존재하는 이질성 분석 및 검증을 위하여 적용되었고, 둘째 조건부 로짓모형 I은 각 속성 수준 데이터를 연속형 변수 형태로 분석한 모형이다(Aizaki et al., 2015). 셋째, 조건부 로짓모형 II는 각 속성 수준 자료를 더미 코딩(dummy coding)으로 처리하여 분석한 모형이다. 세 모형의 추정 결과는 표 5와 같다. 이 중 혼합 로짓모형과 조건부 로짓모형 I(연속 변수 코딩)의 결과를 주요 분석 결과로 제시하며, 이는 리스크 속성의 평균적 효과와 응답자 간 분산을 동시에 고려할 수 있다는 점에서 정책적 해석에 보다 적합하다고 볼 수 있다. 반면 조건부 로짓모형 II(더미 코딩)는 리스

9) 결과수렴성은 진술실험법에서 응답자가 자신의 지불의사액을 응답할 때 그 응답이 현실화될 것이라고 믿는 정도에 따라 가상편의가 발생할 수 있는 것을 말한다. 응답자가 현재 진행하는 설문 응답이 나중에 산림정책으로 현실화 되었을 때의 실제 지불의사에 대한 질문을 통해서 가상편의를 검증하는 것임. 즉, 가능한 가상편의를 줄이며 이를 검증해 보려는 기본적인 질문 항목임.

10) 본 연구에서 사용된 R 패키지는 maxLik, broom, support.CEs, DCchoice, Ecdat, Rfast임.

크 수준 표현 방식에 따른 계수 민감도를 탐색하기 위한 보조·실험적 분석으로 활용하고자 한다. 따라서 본 연구의 정책적 해석과 지불의사액 논의는 혼합 로짓 및 조건부 로짓모형 I의 추정치를 중심으로 하며, 모형 II의 결과는 리스크 속성의 방향성과 일관성을 점검하는 참고 자료로 제시하고자 한다.

### 3.3.3.1. 혼합 로짓모형 추정 결과

혼합 로짓모형의 로그우도 값은 -9,120.24로 나타났으며, 모든 속성의 표준편차가 통계적으로 유의하게 도출되었다. 이는 응답자 간의 선호의 이질성이 존재함을 시사한다. 모형 설정에서 현재 상황은 훼손된 산림 상태(대안 C)로 지정되었으며, 대안 특성 상수(asc), 산림복원 기금(cost)과 산불(fire) 속성이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 먼저, 대안 특성 상수의 계수는 음(-)의 부호를 나타냈는데, 이는 현재의 훼손된 산림 상태가 응답자의 효용에 부정적인 영향을 미친다는 것이다. 산림복원 기금 역시 음(-)의 부호로 추정되어, 복원 비용이 증가할수록 지불의사를 나타낼 확률이 낮아지는 것으로 나타났다. 산불 속성은 양(+) 부호로 유의하게 나타났는데, 이는 산불 리스크가 '심각'에서 '관심' 수준으로 낮아질 경우 응답자의 효용이 증가하고, 이에 대한 지불의사가 존재함을 보여준다. 반면, 산림병해충 속성은 통계적으로 유의하지는 않았지만, 양(+)의 계수를 보여, 병해충 리스크 감소가 효용에 긍정적 영향을 미칠 가능성을 시사한다. 또한, 산림 관련 야외 활동 제한과 생물다양성 손실 속성 모두 음(-)/양(+)의 계수를 가지기는 하나 통계적으로 유의하지 않게 나타났다. 이는 해당 속성들이 응답자의 효용에 일정한 방향성을 보일 수는 있으나, 본 모형에서는 그 영향이 확실하게 드러나지 않았음을 의미한다. 추가로 혼합 로짓모형의 표준편차 추정치는 일부 속성에서 응답자 간 선호 차이의 가능성을 시사하나, 본 연구는 이를 결정적 증거로 해석하지는 않는다.

### 3.3.3.2. 조건부 로짓모형 I 과 II의 추정 결과

조건부 로짓모형 I(로그우도 -10,877.07)는 혼합 로짓모형 추정 결과와 계수의 부호와 크기면에서 유사하게 나타났으며, 산림복원 시나리오에 근거한 속성 간 관계도 이론적 기대와 일치하는 결과를 도출하였다. 이를 통해 조건부 로짓모형 I 이 복원 시나리오에 대한 응답자의 일반적인 선호 방향을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

한편, 조건부 로짓모형 II의 추정 결과(-10,715.15)는 대안 특성 상수(ASC)를 대안 A와 B에 대해 설정하였으며, 각 속성 수준은 더미 변수(textual categories)로 처리하였다. 이 모형에서는 일부 리스크 속성 수준에서 모형 I 과는 다른 부호가 나타나 해석에 유의가 요구된다. 구체적으로, 산불 리스크와 산림병해충 리스크 속성 수준에서는 음(-)의 부호가 추정되어, 해당 리스크가 심각 단계에서 완화될수록 효용의 증가함을 시사한다. 이는 리스크 속성 감소와 효용 증가 간의 반대 방향 관계를 보여주는 것으로, 위험회피 행위를 반영한다고 할 수 있다. 즉, 응답자들은 리스크를 비효용(disutility)으로 인식하

며, 보다 안전한 상태를 선호하는 경향을 보인다. 그리고 산림복원 기금 속성은 모은 모형에서 일관되게 음(-)의 계수로 나타났으며, 이는 제시 금액이 높아질수록 지불의사가 감소함을 의미한다. 해당 계수는 통계적으로 매우 유의하며, 비용 속성이 응답자의 선택에 큰 영향을 미친다는 점을 보여준다. 요약하면, 본 연구의 시나리오는 산불 리스크가 심각한 단계에서 '관심(안전한 수준)'으로 완화되는 설정이며, 시민들은 이와 같이 보다 안전한 환경을 선호함으로써 효용이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 선호는 음(-)의 계수로 반영되어, 계수 부호에 대한 해석은 시나리오 구조와 연계하여 이해할 필요가 있다.

표 5 모형 II의 속성별 수준을 고려해서 살펴보면, 산불 리스크 속성에서는 '관심 단계'가 통계적으로 유의한 음(-)의 계수를 보여, 가장 안전한 상태에 대한 선호가 강하게 나타났다. 산림병해충 리스크 속성은 산불과는 달리 한 단계 낮은 '주의' 수준에서 통계적으로 유의한 반응을 나타내, 리스크 완화에 따른 선호가 확인되었다. 산림 관련 야외 활동 제한 속성에서는 모든 수준에서 양(+)의 계수가 도출되었으며, 이는 정부의 산림복원 및 재해 리스크 통제를 위한 접근 제한 정책에 대해 응답자들이 수용 의향을 보인 것으로 해석할 수 있다. 즉, 산불이나 병해충 리스크의 감소를 위해 일정 수준의 접근 제한을 감내할 수 있다는 것이다. 마지막으로, 생물다양성 손실 속성은 각 수준에서 통계적으로 유의한 결과는 도출되지 않았지만, 소나무 손실 개선 수준에서 양(+)의 계수가 나타났다. 이는 해당 속성에 대한 응답자의 반응이 긍정적인 방향일 가능성을 시사하지만, 통계적 유의성이 확보되지 않았기 때문에 해당 효과가 영(0)과 통계적으로 구별된다고 해석하기에는 한계가 있다.

요약하면, 혼합 로짓모형에서는 산불 및 산림병해충 리스크 속성이 위험 수준이 완화되는 방향으로 코딩되어 양(+)의 계수가 추정되었으며, 이는 리스크가 완화될수록 응답자의 효용이 증가함을 의미한다. 반면 조건부 로짓모형 II에서는 리스크 수준을 더미 변수로 처리하는 과정에서 기준 수준 대비 상대적 비효용(disutility)이 음(-)의 부호로 추정되었다. 이러한 부호 차이는 단순히 변수 코딩 방식의 차이에 의해서만 발생한다고 해석하기보다는 몇 가지 추가적인 관점에서 설명될 수 있다. 첫째, 조건부 로짓모형 II에서는 각 속성 수준이 기준 수준(status quo)에 대한 상대적 변화로 해석되기 때문에 기준 수준 설정에 따라 계수의 부호가 달라질 수 있다. 둘째, 리스크 속성에 대한 효용 구조가 반드시 선형적(linear) 관계를 따른다고 가정하기 어렵기 때문에 특정 위험 수준에서 응답자의 효용 변화가 비선형적으로 나타날 가능성도 존재한다. 셋째, 산불 및 병해충과 같은 재해 리스크에 대해서는 응답자가 위험 회피적(risk-averse) 선택 행태를 보일 수 있으며, 이러한 인식 구조가 특정 위험 수준 변화에 대한 계수 부호에 영향을 미쳤을 가능성도 고려할 수 있다. 따라서 두 모형 간 부호 차이는 단순한 기술적 문제라기보다는 기준 수준 설정과 응답자의 위험 인식 구조가 결합된 결과로도 해석될 수 있다.

표 5. 혼합 로짓모형과 조건부 로짓모형 I 과 II의 추정 결과

속성	혼합 로짓모형				조건부 로짓모형 I		조건부 로짓모형 II		
	추정치	t-값	표준편차 (Standard deviations)		추정치	t-값	속성 수준	추정치	t-값
			추정치	t-값 (robust)					
산불 위험 (Fires)	0.23	2.03**	2.22***	8.14	0.23	2.03**	Fire 2(경계)	-0.02	-0.55
							Fire 3(주의)	-0.04	-1.02
							Fire 4(관심)	-0.11	-2.48**
산림병해충 위험 (Pests)	0.16	1.31	1.37***	4.10	0.15	1.30	Pest 2(경계)	-0.02	-0.67
							Pest 3(주의)	-0.10	-2.37**
							Pest 4(관심)	-0.05	-1.16
산림 관련 야외 활동 제한 (Restrnr)	-0.00	-0.10	0.10***	2.34	-0.00	-0.09	Restrnr 2(0~1백만 명)	0.13	3.19***
							Restrnr 3(1백만~2백만 명)	0.11	2.71**
							Restrnr 4(2백만~5백만 명)	0.08	1.80*
생물다양성 손실 (소나무 개체수 손실) (Biolos)	0.00	0.10	0.19***	5.67	0.00	0.10	Biolos 2(30만~40만 그루)	0.05	1.31
							Biolos 3(20만~30만 그루)	0.02	0.48
							Biolos 4(10만~20만 그루)	0.00	0.02
산림복원 기금(cost)	-0.02	-16.33***	0.05***	17.54	-0.01	-16.32***	산림복원기금(Cost)	-0.01	-15.39***
대안 특성 상수 (ASC)	-0.98	-18.69***	2.81	21.54	-0.97	18.68***	ASC_A	0.64	9.97***
							ASC_B	1.05	16.49***
모형 설명력 (Log-likelihood)	-9,120.24				-10,877.07		-10,715.15		

주: t-값을 나타냄(통계적 유의수준 \*\*\* 0.01, \*\* 0.05, \* 0.1).

### 3.3.4. 속성별 지불의사액 추정 결과

표 6은 앞서 제시한 표 5의 모형 추정 계수와 식 (7)을 바탕으로 각 속성과 수준별로 산출된 지불의사액을 정리한 것이다. 다만, 통계적 유의성이 확보되지 않은 속성의 경우 해석을 신중히 할 필요가 있으며, 일부 지불의사액 추정치는 정량적 비교보다는 전반적인 선호 경향을 이해하기 위한 참고 자료로 해석되어야 한다. 먼저, 혼합 로짓을 기반으로 한 지불의사액 추정 결과에 따르면, 산불 속성은 10,570원, 병해충 속성은 8,360원, 산림 관련 야외 활동 제한은 -360원, 산림 생물다양성 손실은 190원으로 나타났다. 이 결과는 전체적으로 산불 및 병해충 리스크의 감소에 대해 긍정적인 지불의사가 존재하며, 반면 야외 활동 제한은 효용에 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 생물다양성 속성의 경우 지불의사액이 작지만 양(+)의 값을 나타냈다.

다음은 조건부 로짓모형 I을 기반으로 추정한 결과로, 산불 속성은 13,483원, 산림병해충 속성은 9,236원, 산림 관련 야외 활동 제한 속성은 -64.5원, 생물다양성 손실은 84.6원이 추정되었다. 모형 I에서도 혼합 로짓 결과와 유사하게 리스크 속성(산불, 병해충)에 대해 상대적으로 높은 지불의사액이 추정되었으며, 이는 응답자들이 산불이나 병해충 리스크 완화에 대한 선호를 지니고 있음을 의미한다. 이러한 결과는 산불 위험이 병해충 위험에 비해 사회적으로 더 즉각적이고 가시적인 피해로 인식되고 있음을 반영한 것으로 해석할 수 있다. 산불은 단기간 내 대규모 피해를 발생시키며 인명·재산 피해와 직접적으로 연결되는 반면, 병해충 피해는 상대적으로 누적적·장기적으로 인식되는 경향이 있어 위험 인식의 강도 차이가 지불의사액 격차로 나타났을 가능성이 있다. 정책적으로 이는 산불과 병해충 관리의 중요도 차이를 의미한다기보다는, 예방 단계에서의 정책 우선순위 설정에 대한 시사점으로 해석하는 것이 타당하다. 즉, 위험 인식이 높은 산불 예방 및 사전 관리에는 상대적으로 더 많은 재원을 배분할 필요가 있음을 시사하는 반면, 피해 발생 이후의 복구 단계에서는 산불과 병해충 모두 산림 생태계 서비스 회복이라는 동일한 정책 목표하에서 동등한 가치를 지닐 수 있다.

표 6. 속성과 수준별 지불의사액 추정 결과

구분	혼합 로짓	조건부 로짓 I	속성과 수준	조건부 로짓 II
산불 리스크	10,570원* (-190~21,330원)	13,483.3원*	Fire 2(경계, 75)	-1,346.9원
			Fire 3(주의, 60)	-2,674.4원
			Fire 4(관심, 50)	-6,589.4원*
산림병해충 리스크	8,360원 (-2,340~19,060원)	9,236.0원	Pest 2(경계, 75)	-1,675.3원
			Pest 3(주의, 60)	-6,513.8원*
			Pest 4(관심, 50)	-3,314.9원
산림 관련 야외 활동 제한	-360원 (-1,360~640원)	-64.5원	Restrtn 2(0~1)	8,014.5원*
			Restrtn 3(1~2)	7,061.8원*
			Restrtn 4(2~5)	4,905.5원*
생물다양성 손실	190원 (-1,060~1,450원)	84.6원	Biolos 2(3~4)	3,411.4원
			Biolos 3(2~3)	1,295.8원
			Biolos 4(1~2)	75.9원

주: \*는 통계적으로 유의한 지불의사액을 나타냄.

한편, 조건부 로짓모형Ⅱ의 경우, 각 속성 수준별 계수를 활용하여 추정된 지불의사액은 다음과 같다. 이 모형에서는 산불과 병해충 리스크 계수가 음(-)의 부호를 가지므로, 위험회피 성향을 반영한 것으로 해석할 수 있다. 산불 리스크 속성의 경우, 가장 안전한 단계인 '관심 단계'에서 최대 6,589.4원의 지불의사액이 추정되었으며, 산림병해충 리스크 속성은 '주의 단계'에서 최대 6,513.8원이 추정되었다. 이처럼 모형Ⅱ에서 리스크 감소 수준에 따른 지불의사액 추정 결과는 리스크 완화의 체감 효용 증가와 응답자의 위험회피 성향을 고려할 때 일관된 해석이 가능하다. 다만, 리스크 속성에 대한 부호 해석은 모형 설정과 시나리오 구조에 따라 달라질 수 있으므로, 후속 절에서 추가적으로 고찰할 필요가 있다. 한편, 산림 관련 야외 활동 제한 속성의 경우, '제약 없음' 상태에서 첫 번째 제약 수준으로 전환되는 상황에서 가장 높은 지불의사액인 8,014.5원이 추정되었다. 이는 응답자들이 일정 수준의 제한을 수용할 수 있으며, 그에 따른 환경 개선 효과를 긍정적으로 평가함을 시사한다. 마지막으로, 생물다양성 손실 속성에 대해서는 통계적으로 유의한 결과는 나타나지 않았으나, 첫 번째 수준에서 가장 높은 3,411.4원의 지불의사액이 추정되었다. 이는 특히 소나무 손실 개선에 대한 응답자의 잠재적인 선호를 반영하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 조건부 로짓모형 I 과 II 간의 추정 결과를 비교해보면, 산불 및 병해충 리스크 속성에 대한 지불의사액(WTP)의 부호 차이가 발생하고 있어, 조건부 로짓모형 II의 결과가 적절한지에 대한 의문이 제기될 수 있다. 이에 따라 산불 및 산림병해충 리스크 속성의 추정 결과에 대해 몇 가지 측면에서 해석을 시도해 보고자 한다.

첫째, 조건부 로짓모형 II에서 도출된 음(-)의 부호는 지불의사액이 실제로 '마이너스'라는 의미라기 보다는, 리스크 속성이 더미코딩(textual categories)된 범주형 변수로 처리되었기 때문에 해당 속성 수준 자체가 비효용(disutility)을 나타낸다는 점에 주목할 필요가 있다. 이는 리스크 수준이 증가할수록 효용이 감소하고, 리스크가 완화될수록 효용이 증가하는 효용 구조를 반영한 결과로 이해할 수 있다. 이러한 해석은 응답자의 위험회피 성향을 직접적으로 식별하거나 검증하기 위한 목적이라기보다는, 리스크 속성의 코딩 방식에 따라 추정 결과가 어떻게 달라지는지를 설명하기 위한 보조적 해석에 해당한다. 실제로 선택실험 및 환경경제학 문헌에서는 위험과 불확실성을 명시적으로 다루지 않더라도, 리스크 속성이 효용에 미치는 음(-)의 효과를 비효용으로 해석하는 사례가 다수 존재한다. 따라서 산불이나 병해충 리스크가 감소함에 따라 응답자의 기대 효용이 증가하는 역(逆)의 관계가 성립한다고 볼 수 있으며, 이는 가격과 수요 간의 음(-)의 관계와 유사한 구조로 이해할 수 있다. 이러한 맥락에서 지불의사액 산정 시 음(-)의 부호를 제거한 절댓값을 적용하는 방식은 선행연구에서도 활용되어 왔으며 (Didendera & Kabore, 2023), 본 연구 역시 동일한 해석 틀을 따른다. 이러한 해석은 위험회피 성향을 직접적으로 추정하기보다는, 더미코딩된 리스크 속성이 효용에 미치는 비효용 효과를 설명하기 위한 것으로, 선택실험 및 환경경제학 문헌에서 일반적으로 활용되는 접근이다(Train, 2009; Hanley et al., 1998; Hoyos, 2010; Hensher et al., 2015).

둘째, 지불의사액이 음(-)의 값으로 계산된 현상은 다음과 같은 해석이 가능하다. (i) 비용 부담 대 위험 감소의 관계: 지불의사액은 일반적으로 특정 리스크(예: 산불 위험)를 감소시키기 위해 지불할 의향이 있는 금액을 의미한다. 그러나 만약 '심각'한 리스크가 '관심(안전)' 단계로 크게 감소하는 상황에서, 해당 변화에 수반되는 비용 수준이 과도하게 높다고 인식된다면, 응답자들은 그 감소 자체에는 동의하더라도 비용 지불에 대해서는 소극적인 태도를 보일 수 있다. (ii) 모형의 특성: 조건부 로짓 모형에서는 속성에 따른 효용 변화를 반영하여 지불의사액을 계산하는데, 속성의 부호와 상호작용이 지불의사액에 영향을 미칠 수 있다. 조건부 로짓모형은 효용함수에 기반하여 지불의사액을 산출하므로, 속성 수준과 비용 간의 상호작용에 따라 효용 변화의 크기가 충분하지 않다면, 비용이 상대적으로 더 큰 영향을 미치게 되어 지불의사액이 음(-)으로 도출될 가능성이 있다. (iii) 비용 대비 편익의 불균형 관계: 산불 또는 병해충 리스크가 상당 수준 개선되는 시나리오라도, 이에 수반되는 비용이 응답자에게 편익 대비 과도하다고 인식된다면, 결과적으로 지불의사액은 음(-)의 값으로 나타날 수 있다. 본 연구의 시나리오에서도 '심각' 수준에서 '관심' 수준으로 리스크가 감소하는 설정을 바탕으로 하였기 때문에, 그 변화 폭에 비해 비용이 크다고 인식되었을 가능성이 존재한다.

요약하면, 혼합 로짓모형 및 조건부 로짓모형 I에서는 속성별로 일관된 부호 및 예측 가능한 지불의사액 추정 결과가 도출된 반면, 조건부 로짓모형 II에서는 이미 코딩된 리스크 수준의 부호가 음(-)으로 나타났으며, 이는 단순히 모형 오류라기보다는 리스크 속성 해석 방식의 차이 및 효용-비용 상호작용의 구조적 특성에서 기인한 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 모형 II의 추정 결과 역시 경제학적 이론과 해석 가능성을 바탕으로 합리적인 범주 내에서의 현상으로 해석하고자 하였으며, 이는 향후 유사한 연구 설계 및 지불의사액 해석 시 중요한 참고점이 될 수 있을 것이다.

## 4. 결론

건강한 산림 생태계는 시민에게 다양한 양질의 휴양 서비스, 이산화탄소 흡수 등 공공재로서의 편익을 지속적으로 제공한다(Pisani et al., 2022; MA, 2005). 그러나 최근 기후변화의 영향으로 산불 발생 빈도가 증가하고, 소나무재선충과 같은 외래 병해충이 확산하면서 산림 훼손과 생태계서비스의 질 저하가 심화되고 있다(IPCC, 2022; Bowman et al., 2020; Seidl et al., 2017). 이러한 여건 변화는 훼손된 산림의 복원을 통한 생태계 건강성 회복과 산림 생태계서비스의 지속적 공급을 위한 산림복원 정책의 필요성이 더욱 부각 되고 있다.

이에 본 연구는 산림 생태계서비스를 위협하는 주요 요인인 산불과 산림병해충을 핵심 속성으로 설정하고, 산림복원 정책 시나리오하에서 시민들이 인식하는 위험 수준의 변화를 반영한 선택실험을 설계하였다(Hanley et al., 2019; Johnston et al., 2017). 2023년 10월 한 달 동안 전국 일반 시민

1,021명을 대상으로 설문조사를 실시하여 총 10,210개의 선택 자료를 수집하였으며, 산림복원 정책에 대한 선호의 이질성을 검증하기 위해 혼합 로짓모형과 두 가지 조건부 로짓모형(I, II)을 적용하였다. 이를 통해 속성 및 수준별 지불의사액을 추정하고, 위험 속성의 변수 처리 방식에 따른 결과 차이를 경제통계학적 관점에서 비교·분석하였다.

분석 결과, 혼합 로짓모형에서는 산불 위험 감소에 대한 평균 지불의사액이 10,570원, 산림병해충 위험 감소에 대해서는 8,360원으로 추정되어, 산림 재해 위험 완화에 대한 시민들의 선호가 뚜렷하게 나타났다. 조건부 로짓모형 I에서는 산불 13,483원, 산림병해충 9,263원으로 다소 높은 지불의사액이 추정되었는데, 이는 선호 이질성을 고려하지 않은 모형 특성에 기인한 결과로 해석할 수 있다. 한편 조건부 로짓모형 II에서는 위험 수준별 더미 변수를 사용한 결과, 산불의 경우 가장 안전한 '관심 단계'에서 최대 -6,589.4원, 산림병해충은 '주의 단계'에서 -6,513.8원의 지불의사액이 추정되었다.

산림 관련 야외 활동 제한 속성과 관련해서는 '제약 없음'에서 첫 번째 제약 수준으로 이동할 때 가장 높은 8,014.5원의 지불의사액이 나타나, 시민들이 산림 이용의 완전한 제한보다는 일정 수준의 관리와 조정을 선호함을 시사한다. 모형 II에서는 산불과 산림병해충 위험 속성의 추정 계수가 음(-)의 부호를 보였는데, 이는 위험 수준의 감소와 효용 간에 역의 관계가 성립함을 의미한다. 즉, 위험 수준이 낮아질수록 응답자의 효용이 증가하는 것으로, 이는 경제학에서 말하는 위험회피 성향을 반영한 결과로 해석할 수 있다(Arrow, 1971; Eeckhoudt et al., 2005). 이러한 결과는 동일한 위험 속성이라 하더라도 변수 처리 방식에 따라 해석의 초점이 달라질 수 있음을 보여주며, 본 연구가 다양한 해석 가능성을 제시하였다는 점에서 의의를 가진다.

본 연구의 결과는 산불 및 산림병해충과 같은 산림 생태계 위협 요인에 대한 시민들의 지불의사액을 실증적으로 제시함으로써, 산림복원 및 산림 재해 대응 정책 수립 과정에서 경제적 근거 자료로 활용될 수 있다. 특히 속성 및 수준별로 구체적인 지불의사액이 추정되었기 때문에, 정책 결정자들은 특정 위험 수준의 완화 또는 복원 시나리오를 기준으로 총편익을 산정하고, 이를 토대로 예산 규모와 우선순위를 설정하는 데 활용할 수 있다(Boardman et al., 2018; Bateman et al., 2013). 기존 연구가 주로 산림휴양 및 복지 측면에 초점을 맞추어 왔던 반면, 본 연구는 기후변화로 인해 증가가 예상되는 산불과 병해충 등 산림 재해 위험 완화에 대한 시민 선호를 분석하였다는 점에서 정책적 함의를 갖는다(Niquidet et al., 2015). 또한 정책적으로는 국유림과 사유림 간의 제도적 차이와 예방 관리 및 사후 복구 간 자원 배분 구조를 고려한 보다 정교한 산림복원 기금 설계가 필요한데, 이번 연구 결과는 이러한 자원 배분 과정에서 사회적 수용성을 가늠하는 참고 지표로 활용될 수 있다(Mees et al., 2018; FAO, 2020a).

한편 본 연구에는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 첫째, 산불 및 산림병해충 피해를 실제로 경험한 농촌 지역 응답자의 비중이 상대적으로 낮아 재해 경험 여부에 따른 선호 차이가 충분히 반영되지 못했을 가능성이 있다. 향후 연구에서는 재해 경험 유무, 지역 및 공간적 이질성, 토지 이용 형태 등을 고려

하여 위험 인식과 지불의사 행태의 차이를 보다 정밀하게 분석할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 사용된 위험 수준 지표와 생물다양성 속성은 정책의 직접적 통제 변수라기보다는 정책 실행 결과에 대한 시민 인식을 반영한 대리(proxy) 지표라는 한계를 지닌다(Carson & Louviere, 2011; Johnston et al., 2020). 특히 생물다양성 속성은 소나무 개체수 손실을 활용함에 따라 생태계 전반의 종 다양성이나 구조적 복잡성을 충분히 반영하지 못한다. 향후 연구에서는 실제 발생 확률, 피해 규모, 피해 면적, 종 출현 변화(K-BIS) 등 보다 정량적이고 포괄적인 생태학적 지표를 반영할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서는 주요 속성 간 상관관계 및 상호작용 효과를 충분히 고려하지 못하였으며, 이는 지불의사액 추정 결과에 영향을 미칠 가능성이 있다. 또한 정책 시나리오를 결과 중심(outcome-based)으로 설정함에 따라 개별 정책 수단에 대한 미시적 선호를 직접적으로 식별하는 데 한계가 존재한다.

넷째, 자원 조달 방식 또한 산림복원 기금이라는 단일 지불수단을 가정하였기 때문에 세금, 기금, 이 용료 등 다양한 자원 방식 간의 선호 차이를 분석하지 못하였다. 향후 연구에서는 예방적 관리, 복구 중심 정책, 이용 규제 등 다양한 정책 수단과 함께 자원 조달 방식을 다변화한 선택실험 설계를 통해 시민의 정책 수단 및 자원 방식에 대한 선호 구조를 보다 정교하게 분석할 필요가 있다.



이 저작물은 크리에이티브 커먼즈 저작자표시-비영리-변경금지 4.0 국제 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.  
This work is licensed under CC BY-NC-ND 4.0.

## 참고문헌

- 국가통계포털(KOSIS), <https://kosis.kr/index/index.do>
- 김기동, 배재수, 임종수, 한희, 이선정, 최형태, 이창우, 이정희, 김래현, 박찬열, 최수민, 장운성, 전철현, 박수진. (2020). 산림공익기능 평가 결과와 시사점(2018년 기준). *NIFoS 산림정책이슈*, 137. 국립산림과학원.
- 김태균, 이상민. (2014). 조건부가치측정법(CVM)을 활용한 산림 공익기능 가치 평가 연구 동향. *산림경제연구*, 22(1), 1-18.
- 미국 식물병리학회. <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/nematode/pdlessons/Pages/PineWilt.aspx>
- 박경석, 김성훈, 이민호. (2018). 산림 공익기능에 대한 국민 인식 및 지불의사액 분석. *한국임학회지*, 107(3), 321-334.
- 산림청. (2024). 2023 산림임업통계연보. <https://kfss.forest.go.kr/stat/>
- 산림청(2025. 4. 18.). *경북·경남·울산 산불 피해 규모 잠정 104천ha, 산림청 복구에 최선*. 보도자료.
- 유병국. (2012). 선택실험법 자료에서의 선호이질성 분석을 위한 혼합로짓모형 및 잠재계층모형의 활용. *자원환경경제연구*, 21(4), 921-945.
- 유진채, 김미옥, 공기서, 유병일. (2010). 한국 산림의 공익적 가치추정(선택실험법을 이용하여). *농촌경제*, 33(40), 43-62.
- 이진권, 황욱. (2020). 가상가치평가법에서의 결과 수렴성과 가상 편익. *자원환경경제연구*, 29(1), 1-22. <http://doi.org/10.15266/KEREA.2020.29.1.001>
- 장진. (2019). 선택실험법을 이용한 지리산국립공원의 생태계서비스 가치평가(종다양성 가치를 중심으로). *한국산림휴양학회지*, 23(2), 49-57. <https://doi.org/10.34272/forest.2019.23.2.005>
- 최성록, 박은진. (2010). *DMZ 일원 주요 자원의 보전가치 추정 연구*. 연구보고 2009-33, 강원발전연구원.
- 최성록, 염영숙. (2018). 선택실험을 이용한 서울 도시녹지 어메니티의 경제가치 평가. *자원환경경제연구*, 27(1), 105-138. <https://doi.org/10.15266/KEREA.2018.27.1.105>
- Aizaki, H., Nakatani, T. & Sato, K. (2015). *Stated preference method using R*. CRC Press.
- Arrow, K. J. (1971). *Essays in the theory of risk-bearing*. Amsterdam: North-Holland.
- Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., Binner, A., Crowe, A., Day, B. H., Dugdale, S., Fezzi, C., Foden, J., Hadley, D., Haines-Young, R., Hulme, M., Kontoleon, A., Lovett, A.A., Munday, P., Pascual, Paterson J, Perino G, Sen A, Siriwardena G, van Soest D. & Termansen M. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom. *Science*, 341(6141), 45-50.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. & Weimer, D. L. (2018). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice (5th ed.)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A. & Smith, A. M. S. (2020). Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology & Evolution*, 4(8), 1001-1010. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01272-7>
- Brown, L. R. (2009). *Plan B 4.0(mobilizing to save civilization)*. W·W·Norton & Company.
- Carson, R. T., Groves, T. & List, J. A. (2014). Consequentiality: a theoretical and experimental exploration of a single binary choice. *The association of environmental and resource economics*, 1(1/2). <http://doi.org/10.1086/676450>.
- Carson, R. T. & Louviere, J. J. (2011). A common nomenclature for stated preference elicitation approaches. *Environmental and Resource Economics*, 49(4), 539-559.
- Champ, P. A., Boyle, K. J. & Brown, T. C. (2017). *A primer on nonmarket valuation*. 2nd edition, Springer.
- Diendere, A. A. & Kabore, D. (2023). Preferences for a payment for ecosystem services program to control forest fires in Burkina Faso: a choice experiment. *Forest Policy and Economics*, 151, 102973.
- Eeckhoudt, L., Gollier, C. & Schlesinger, H. (2005). *Economic and financial decisions under risk*.

- Princeton. NJ: Princeton University Press.
- Everitt, B. S. & Hothorn, T. (2010). *A handbook of statistical analyses using R*. 2nd edition. CRC press.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). (2020a). *Global forest resources assessment 2020 Key findings*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). (2020b). *National forest monitoring systems: Monitoring and measurement, reporting and verification in the context of the Paris Agreement*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hanley, N., Mourato, S. & Wright, R. E. (2001). Choice modelling approaches: a superior alternative for environmental valuation?. *Journal of Economics Surveys*, 15(3), 435-462.
- Hanley, N., Fenichel, E. P. & Shogren, J. F. (2019). Environmental economics after the fire. *Ecological Economics*, 155, 1-12.
- Hanley, N., Wright, R. E. & Adamowicz, V. (1998). Using choice experiments to value the environment. *Environmental and Resource Economics*, 11(3-4), 413-428.
- Hensher, D. A., Rose, J. M. & Greene, W. H. (2015). *Applied Choice Analysis* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Hoyos, D. (2010). The state of the art of environmental valuation with discrete choice experiments. *Ecological Economics*, 69(8), 1595-1603.
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W. (Vic), Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., Hanemann, W. M., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R. & Vossler, C. A. (2017). Contemporary guidance for stated preference studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), <https://doi.org/10.1086/691697>
- Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W. L., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A. & Tourangeau, R. (2020). Validity of stated preference methods. *Environmental and Resource Economics*, 76(2), 369-397.
- Kwon, T. S., Shin, J. H., Lim, J. H., Kim, Y. K. & Lee, E. J. (2011). Management of pine wilt diseases in Korea through preventive silvicultural control. *Forest Ecology and Management*, 261, 562-569.
- Manski, C. F. (1977). *The structure of random utility models. theory decision*. 8, 229-254. <https://doi.org/10.1007/BF00133443>
- Marbuah, G., Gren, Ing-Marie. & McKie, B. (2014). Economics of harmful invasive species: A review. *Diversity*, 6. <https://doi.org/10.3390/d6030500>
- Mariel, P., Hoyos, D., Meyerhoff, J., Czajkowski, M., Dekker, T., Glenk, K., Jacobsen, J. B., Liebe, U., Olsen, S. B., Sagebiel, J. & Thiene, M. (2021). *Environmental valuation with discrete choice experiments guidance on design, implementation and data analysis*. Springer.
- Mees, H. L. P., Driessen, P. P. J. & Runhaar, H. A. C. (2018). Exploring the scope of public and private responsibilities for climate adaptation. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 20(4), 547-562.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2005). *Ecosystems and human well-being: A framework for Assessment*. Island Press (Washington, DC.:World Resources Institute).
- Niquidet, K., Tang J. & Peter, B. (2016). Economic analysis of forest insect pests in Canada. *The Canadian Entomologist*, 148(S1), S357-S366. <http://doi.org/10.4039/tce.2015.27>
- Niquidet, K., Stennes, B. & van Kooten, G. C. (2015). Bioeconomic modelling of wildfire risk reduction through fuel management. *Journal of Forest Economics*, 21(2), 67-84.
- Olson, L. J. (2006). The economics of terrestrial invasive species: A review of the literature. *Agricultural*

- and Resource Economics Review*, 35/1, 178-194.
- Park, M. S. & Lee, H. W. (2014). Forest policy and law for sustainability within the Korean Peninsula. *Sustainability*, 6, 5162-5186. <https://doi.org/10.3390/su6085162>
- Pisani, D., Pettinelli, E., Mariani, M. & Leone, A. (2022). Forest biomass estimates and global carbon stock distribution. *Environmental Research Letters*, 17(4), 045001.
- Reynaud, A. & Nguyen, M. H. (2016). Valuing flood risk reductions. *Environmental Modelling Assessment*, 21(5), 603-617.
- Shang, L. & Chandra, Y. (2023). *Discrete choice experiments using R (a how-to guide for social and managerial sciences)*. Springer.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A. & Reyser, C.P.O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395-402.
- Tadesse, T., Teklay, G.T., Mulatu, D.W., Rannestad, M., Meresa, T.M. & Woldelibanos, D. (2022). Forest benefits and willingness to pay for sustainable forest management. *Forest policy and Economics*, 138, 102721.
- Taye, F. A., Folkersen, M. V., Fleming, C. M., Buckwell, A., Mackey, B., Diwakar, K. C., Le, D., Hasan, S. & Ange, C.S. (2021). The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 189, 107145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107145>
- Thompson, M. P., Scott, J. H., Helmbrecht, D. J. & Calkin, D. E. (2016). The economics of fuel management, fire suppression, and post-fire restoration. *Journal of Environmental Management*, 177, 189-197.
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. 2nd edition.
- Verkerk, P. J., Lindner, M., Pérez-Soba, M., Paterson, J. S., Helman, D. & Schelhaas, M. J. (2018). Assessing impacts of natural disturbances on European forests. *Forest Ecology and Management*, 432, 832-843. <http://doi.org/10.1111/gcb.16531>
- Zhao, J., Huang, J., Yan, J. & Fang, G. (2020). Economic loss of pine wood nematode diseases in mainland china from 1998 to 2017. *Forests*, 11, 1042. <https://doi.org/10.3390/f11101042>