



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학석사 학위논문

산주의 산림탄소상쇄사업 참여 조건
-별기령 연장 산림경영 유형

Factors Affecting Private Forest Owners'
Intention of Participating in Forest Carbon
Offset Project

-A Case of Forest Carbon Offset Type of
Extended Rotation Forest Management

2020 년 8 월

서울대학교 대학원

산림환경학 전공

박 민 영

국문초록

우리나라 산림이 전체 국토의 67%를 차지하는 것을 고려하면 산림탄소상쇄사업에서 사유림 산주의 참여가 중요하다. 본 연구는 산림탄소상쇄사업으로 생산하는 산림탄소배출상쇄권의 단위당 생산비용 결정요인 분석, 수용의사금액(willingness to accept, WTA) 도출, 산림탄소상쇄사업에 참여 가능성이 높아지는 특성을 규명하였다. 연구 결과 수종과 사업면적이 단위당 생산비용에 영향을 미치는 요인으로 도출되었고 활엽수의 비율이 높은 사업일수록, 사업면적이 넓을수록 단위당 생산비용이 낮아지는 결과가 나타났다. 산주의 WTA를 조사한 결과 사업 기간에 따라 17,039~23,070원/ tCO_2 으로 나타났으며 더 높은 WTA를 제시할 때 산주의 참여 가능성이 더 높아지는 것으로 나타났다. 1원/ tCO_2 의 수용의사금액을 더 제시받은 산주일수록, 산림의 경제적 가치보다 공익적 가치를 선호하는 산주일수록, 교육 수준이 낮은 집단보다 높은 집단의 산주가 사업에 참여할 가능성이 증가하는 것으로 나타났다. 산림탄소상쇄사업 단위당 생산비용에 대해 임령과 지위지수가 통계적으로 유의미하지 않게 나타났으며, 산림탄소상쇄사업의 참여 의사에 대해 사업에 대한 노력, 소유 면적, 부채 산주 여부, 연령, 성별, 가계 소득, 수종, 생태자연도, 임령, 도로 접근성이 통계적으로 유의미하지 않게 나타났다. 연구 결과에 따라, 사유림의 산림탄소상쇄사업 참여 및 공급 확대 방안을 제시하면 다음과 같다. 첫째, 산주가 산림탄소배출상쇄권을 생산함으로써 감당해야 할 기회비용에 대한 정책적 지원이 필요하다. 둘째, 공익가치 인식 제고를 위한 지원이 필요하다. 셋째, 교육 수준이 높은 산주를 우선적인 정책 대상으로 고려해 볼 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 실질적 데이터를 이용하여 산림탄소상쇄사업에 대한 산주들의 참여 가능성에 관한 기초 연구를 수행한 것으로 기존에 없었던 연구로서 의의가 있다.

주요어 : 산림탄소상쇄사업, 수용의사금액(WTA), 산주, 다중선형 회귀분석, 로지스틱 회귀분석

학 번 : 2018-24457

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성	1
1. 기후변화와 산림의 중요성	1
2. 산림탄소상쇄제도와 배출권거래제	3
3. 연구의 필요성	9
제 2 절 연구의 목적	12
제 3 절 연구 설계와 구성	13
1. 연구 설계	13
2. 연구 구성	15
제 2 장 이론적 배경	16
제 1 절 생산자 이론	16
1. 생산변환곡선	16
2. 등수입곡선과 이윤극대화	18
제 2 절 연구사	20
1. 산림탄소사업 및 산림보전사업에 대한 수용의사금액 · 20	
2. 산림탄소상쇄사업 참여에 대한 기회비용	22
제 3 장 연구방법	24
제 1 절 연구 대상	24
1. 모집단과 표본	24
2. 연구대상지 개황	24
제 2 절 연구 분석 틀	26
1. 산림탄소상쇄사업의 수용의사금액	26
2. 보상가격 상한선 설정	29

3. 산림탄소상쇄사업 비용	30
4. 산림탄소상쇄사업 산림탄소 흡수량	32
5. 산림탄소상쇄사업 비용에 영향을 미치는 요인	35
6. 산림탄소상쇄사업 참여에 영향을 미치는 요인	37
제 3 절 설문조사 설계	47
1. 설문지 구성	47
2. 자료 수집	48
제 4 절 분석 모형	49
제 4 장 연구결과 및 고찰	57
제 1 절 응답자의 일반 현황 및 표본의 대표성	57
1. 인구통계학적·사회경제적 특성	57
2. 산주특성, 자원특성 및 위치특성	59
3. 표본의 대표성	62
제 2 절 산림탄소상쇄사업 비용 결정 요인	63
1. 산림탄소상쇄사업 비용분석	63
2. 산림탄소상쇄사업의 비용 결정 요인	64
제 3 절 산림탄소상쇄사업 참여 의향과 결정 요인	70
1. 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의향	70
2. 수용의사금액 조사 결과	71
3. 산림탄소상쇄사업의 지속 참여확률 결정 요인	73
제 4 절 고찰	79
1. 연구가설 검정결과	79
2. 산주의 지속적 참여 결정 과정	79
제 5장 결론	83
참 고 문 헌	87

부 록 97

Abstract 114

표 목차

표 1-1. 산림부문 외부사업등록 현황	6
표 1-2. 산림탄소상쇄사업등록 현황	6
표 3-1. 사업 대상지와 산주의 실거주지	25
표 3-2. 비시장적 가치 추정 방법	27
표 3-3. WTA를 유도하는 질문 방식	28
표 3-4. 산림탄소상쇄사업 행정비용 산출프로그램 산출 근거	31
표 3-5. 이산화탄소 흡수량 산정	34
표 3-6. 다중선형 회귀분석 변수 설명	36
표 3-7. 다중선형 회귀분석의 독립변수 유형 및 선행연구	37
표 3-8. 연구 가설과 변수	42
표 3-9. 로지스틱 회귀분석 변수 설명	43
표 3-10. 로지스틱 회귀분석의 독립변수 유형 및 선행연구	44
표 4-1. 인구통계학적 특성 및 배경	58
표 4-2. 산주 특성	60
표 4-3. 사업대상지 특성	61
표 4-4. 모집단의 평균	62
표 4-5. 표본의 평균	62
표 4-6. 모집단에 대한 가설 검정	62
표 4-7. 다중선형 회귀모형 추정 결과	65
표 4-8. Pearson 상관계수	66
표 4-9. 다중선형 회귀모형 분산팽창인자	67
표 4-10. 분산분석	67
표 4-11. 다중선형 회귀분석 결과 요약	68
표 4-12. 사업 기간에 따른 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의향 차이	70
표 4-13. 추가면적 의향	71
표 4-14. 로지스틱 회귀모형 분산팽창인자	73
표 4-15. 로지스틱 회귀 함수식 추정 결과	75
표 4-16. 로지스틱 회귀분석 결과 요약	76

그림목차

그림 1-1. 산림탄소배출상쇄권 유형	5
그림 1-2. 참여자 유형 별 사업등록 건수	7
그림 1-3. 참여자 유형별 사업등록 추이	8
그림 1-4. 외부사업과 산림탄소상쇄사업등록 추이	8
그림 1-5. 외부사업 인증실적(KOC) 가격	10
그림 1-6. 연구 과정 설계	14
그림 2-1. 생산변환곡선	16
그림 2-2. 등수입곡선과 이윤극대화	19
그림 3-1. 다중 경계 양분선택형 질문 설계	28
그림 3-2. 연구 모형 상세	45
그림 3-3. 연구 모형 간략 모식도	46
그림 3-4. 가상가치 평가 질문 과정 예시	48
그림 3-5. 확률 정의 모식도	53
그림 4-1. 별기령 시나리오에 따른 평균비용 그래프	63
그림 4-2. 별기령 60년 시나리오의 등분산성	68
그림 4-3. 별기령 100년 시나리오의 등분산성	68
그림 4-4. WTA에 따른 사업의 지속적 참여 가능성	72

부록

부록 1. 설문지	97
부록 2. 산주 방문 및 설문조사 준비과정 사진	104
부록 3. 조사 결과	105
부록 3-1. 표본의 인구통계학적 특성	105
부록 3-2. 사업에 대한 노력	106
부록 3-3. 표본의 산주 특성	107
부록 3-4. 표본의 사업대상지 특성	108
부록 3-5. 모집단의 사업대상지 특성	109
부록 3-6. 산림탄소 흡수량과 총비용	110
부록 3-7. 다중선행회귀분석의 정규분포	111
부록 3-8. 다중선행회귀분석의 선형성	112
부록 3-9. 제시된 수용의사금액 응답표	113

약어

ETS	Emission Trade System	배출권거래제도
WCI	Western Climate Initiative	서부기후이니셔티브
WTA	Willingness to Accept	수용의사금액
WTP	Willingness to Pay	지불의사금액
PPM	Provision Point Mechanism	공급임계점메커니즘
PP	Provision Point	공급임계점(한계점)
KOC	Korean Offset Credits	외부사업인증실적
tCO₂	Carbon Dioxide Ton	이산화탄소톤

제 1 장 서론

제 1 절 연구배경 및 필요성

1. 기후변화와 산림의 중요성

온실가스 증가로 인한 지구온난화는 이상기후를 발생시켜 인류의 생존을 위협하고 있다. 대륙과 해양의 표면 온도는 1880년부터 2012년까지 0.85°C (0.65-1.06°C) 상승했고 지구 평균 해수면은 1901년보다 2010년에 19cm (17-21cm) 상승했다(IPCC AR5, 2014). 경제 및 인구의 성장을 통해 산업화가 진행되기 이전부터 인간이 발생시키는 온실가스 배출량은 지속적으로 증가해왔으며 현재 가장 높은 수준을 보이고 있다.

1988년, 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 유엔환경기구(United Nations Environment Program, UNEP)가 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)을 설립하며 기후변화에 대한 국제적인 논의를 이끌었다. 1990년 냉전체제 이후 국제사회에서 다자주의 협상이 시작되면서 1992년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 창설을 통해 기후변화체계가 수립되면서 기후변화는 전 지구적인 의제로 발전하였다. 초기 유엔기후변화협약 체제하에 출범한 교토의정서(1997)가 와해되면서 2011년 제 17차 당사국 총회에 의한 이행 기간 이후의 실행체제인 ‘더반플랫폼’을 채택되었다. 2015년 제 21차 당사국 총회(Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation, REDD+)를 통해 신 기후체제의 기반이 되는 파리협정을 채택하였다. 당사국들은 90년대부터 논의되었던 지구의 평균온도가 2°C 이상 상승되지 않도록 온실가스 배출량을 줄이는 것에 더 2°C보다 아래로 유지해야 한다는 데 합의하였다. 교토의정서는 주로 온실가스 배출 감축에 초점을 맞추었다면 파리협약은 감축, 적응, 재원, 기술, 역량배양, 투명성의 6개를 신 기후체제를 지탱하는 6개의 기둥이라 칭하며 포

팔하고 있다. 국가들이 감축 목표를 스스로 설정하는 상향식 방식을 채택하여 ‘자발적 국가감축기여계획(Intended Nationally Determined Contributions, INDCs)’을 제출하도록 하였다. 또한 교토의정서 제 1차 공약기간(1997-2012)에는 40개 국가가 감축의무를 가졌지만, 파리협정을 통해 선진국과 개도국이 모두 의무적으로 감축하는 데 기여하기로 했다.

한편, 산림 흡수원 증진을 통한 탄소 배출 절감은 다른 탄소 배출 규제 방식보다 비용 효율적으로 밝혀져 있다(Sedjo and Solomon 1989, Dudek and LeBlanc 1990, Stern et al. 2007, Gren and Akliu 2016). 다수의 선행연구에서 기후변화의 위협이 증가하는 것에 대해 대기 중 이산화탄소(CO₂) 등의 온실가스를 제거하는 수단으로서 산림의 중요성을 강조하고 있다(Stavins et al. 2006, Condit 2008). 또한 산림은 기후변화 대응뿐만 아니라 공편의(Co-benefit)을 주는 것으로 밝혀져 유일한 탄소흡수원으로 가치를 인정받고 있다(김대수 외 2016; Mayrhofer and Gupta 2016).

산림의 중요성은 기후변화협약 당사국 총회(COP)에서도 꾸준히 논의되고 있다. 파리협정에서는 산림을 포함한 온실가스 흡수원 보전 및 증진을 추진하고 REDD+활동 이행을 촉구한다. 개도국의 REDD+ 이행을 위한 결과기반 보상 방안 및 이행과 산림의 통합적이고 지속가능한 관리를 위해 감축과 적응을 동시에 고려한 접근(Joint Mitigation and Adaptation, JMA)을 강조함으로써 기후변화 속에서 산림의 중요성을 재확인 하였다(이동호 2019).

국제사회의 대응에 발맞춰 대한민국 정부는 2018년 7월 『2030 국가 온실가스감축 기본로드맵 수정안』에 감축 수단 중 하나로 산림흡수원을 포함시켰다. 전환 부문의 노후 석탄 폐지, 신재생에너지 발전량 확대, 에너지세계 개편, 환경급전 강화 등 에너지신산업 및 탄소 포집 및 저장에 막대한 인프라 비용이 예상된다. 하지만 다수의 선행연구(Dudek and LeBlanc 1990; Sedjo and Solomon 1989, Angelsen et al. 2010; Eliasch 2008; Richards and Stokes 2004; Stern 2007, 한기주와 윤여창 2009, Galik and Jackson 2009 등)를 통해 산림흡수원이 다른 탄소 감축 대안들과 비교해 비교적 저렴한 수단임이 밝혀지면서 환경에 대한 부분뿐만 아니라 다른 사업에 투자할 수 있는 예산을 상쇄할 수 있는 역할을 할 것으로 기대된다.

범지구적으로 산림의 중요성에 대한 인식이 기후변화에 대한 관심과 함께 확산되고 있다. 대한민국은 과거 성공적인 치산녹화 경험을 바탕으로 개도국 기술개발에 도움을 전수할 수 있는 산림기술 국가로서 역할이 중요해졌다. 우리나라가 국제사회에서 산림을 이용한 기후변화 대응을 이끌어 나가기 위해서는 산림탄소흡수원을 활용한 국내외 감축을 위한 산림탄소상쇄사업 활성화가 주요 과제로 꼽힌다.

2. 산림탄소상쇄제도와 배출권거래제

산림이 국토의 64%의 면적을 차지하는 우리나라에서 산림은 2019년 기준 국내 온실가스 총배출량의 6.8%인 47백만 tCO_2 을 흡수하고 있어 국내 온실가스 흡수원으로써 큰 역할을 하고 있다(산림청 2018).

2010년 『저탄소 녹색성장 기본법』을 제정하였고 동법은 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 온실가스-에너지 목표관리제(42조)와 총량제한 배출권거래제(46조), 탄소흡수원법(55조)을 도입하는 발판이 되었다. 2013년 『탄소흡수원법 유지 및 증진에 관한 법률』에 따른 산림탄소상쇄제도를 도입하였는데 이는 탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 활동을 하며 산림청에서 주관한다. 2015년에는 『온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률』(배출권거래제법)에 따른 배출권거래제(Emission Trade System: ETS)를 도입했다. 이 법은 시장기능을 활용하여 효과적으로 국가의 온실가스 감축목표를 달성하는 것을 목적으로 제정되었다. 배출권거래제의 외부상쇄사업에는 산림을 포함한 에너지 환경 등 16개 분야의 상쇄 활동이 포함되어 있고 기획재정부와 환경부가 운영한다. 실제로 배출권 시장에서 거래되는 산림탄소 배출상쇄권은 배출권거래제 외부상쇄사업에 등록된 사업을 대상으로만 발생하며, 배출권거래제의 수요와 공급의 주체인 온실가스목표관리 대상기업은 2019년 기준 611개로 지정되어있다.

우리나라의 산림탄소상쇄제도는 기업이나 산주, 지방자치단체 등이 자발적으로 산림을 통해 온실가스 배출저감을 위한 탄소흡수원 증진 활동을 하고 이를 통해 확보한 탄소흡수량을 정부가 인증해 주는 제도이다. 외부상쇄사

업으로 등록되지 않은 산림탄소배출상쇄권은 배출권거래제 상의 상쇄배출권으로 사용될 수 없다. 비거래형인 사회공헌형 산림탄소상쇄사업만 운영되고 있고 감축실적형 산림탄소배출상쇄권은 하위법령 근거가 부족해 미시행되고 있다. 임업진흥원이 관리하는 산림탄소등록부에는 거래형, 비거래형 사업에 대해 구분하였으나 사업계획서를 보면 모두 사회공헌형으로 표기되어 있다. 산림탄소상쇄제도 운영 개선방안(산림청 2017a)에 따르면 감축실적형은 온실가스 감축에 직접 활용가능하고 배출권거래제와의 연계기반이 마련되었으나 부처 간 합의와 하위법령상 근거, 운영표준, 사업 방법론 등의 부재로 운영되지 않고 있다<그림 1-1>. 배출권거래제법 제 39조 2항에 따르면 탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 19조 1항 1호에 해당하는 사업 중 같은 조 제 3항에 따라 사업의 타당성이 인정된 산림탄소상쇄사업은 부문별 관장기관의 타당성 평가를 받은 것으로 본다. 또한 동법 제 40조 3항에 따르면 부문별 관장기관은 제 1항에 따른 신청을 받으면 제 39조에 따른 외부사업 승인 시 검토한 사항 및 제 2사항 후단에 따라 산림청장으로부터 제출받은 인증 결과와 검토 사항 등을 고려하여 환경부장관과의 협의와 인증 위원회 심의를 거쳐 외부사업 온실가스 감축량을 인정한다. 이를 통해 환경부의 온실가스 거래법에서는 산림탄소상쇄사업이 규제시장의 외부사업으로 전환이 가능하다고 법적 근거를 제시하고 있다. 하지만 사회공헌형 산림탄소상쇄 운영표준 제5조 제2항에 따르면 이 운영표준에 따라 시행한 산림탄소상쇄사업을 통해 획득한 산림탄소흡수량은 배출권거래법에 따른 외부사업 온실가스 감축량으로 사용될 수 없다. 탄소흡수원법 제 21조 1항에 따르면 산림탄소센터장은 운영표준에 따라 검증보고서를 검토하여 그 내용이 타당하다고 인정하는 경우에는 산림청장의 인증을 거친 후에 모니터링 결과 보고서를 제출한 지방자치단체의 장이나 사업자에게 인증서를 발급한다. 인증서를 발급받은 경우 산림청장에게 해당 인증결과 및 해당 인증 시 검토한 사항을 부문별 관장기관에 제출해 줄 것을 요청할 수 있다.



그림 1-1. 산림탄소배출상쇄권 유형

산림청에서는 감축실적형 산림탄소상쇄 운영표준 제정하여 고시하고 배출권거래제 외부사업 산림분야 방법론을 추가 등록할 계획이라고 밝혔다. 산림청(2017a)에 따르면 거래 자금의 범위 내에서 산림탄소센터가 탄수흡수량을 구매하고 사회공헌형 거래형 사업을 감축실적형으로 전환할 것이라고 계획했으나 정부 예산 배정 등의 문제로 사실상 불가능한 상태이다. 2016년 산림탄소상쇄사업에 대한 정부 예산 이내에서 정부구매가 발생했지만 정확한 구매량은 밝혀진 바가 없다. 2017년에는 1,009tCO₂, 2018년에는 855tCO₂이 장외에서 거래되었고 이는 기업의 사회공헌 목적의 거래이다. 2018년 임업진흥원의 통계에 따르면 거래형 사업 중 인증이 완료되어 거래가 이루어진 사업은 총 2건, 거래량은 약 2천 톤이며, 비거래형 사업의 경우 총 5건 약 1.7천 톤에 대한 인증이 완료되었다. 2020년 임업진흥원의 통계에 따르면 2019년까지 거래형 사업중 인증이 완료되어 거래가 이루어진 사업은 총 10건, 거래량은 4천 톤이며, 비거래형 사업의 경우 총 5건, 약 2천 톤에 대한 인증이 완료되었다. 이 통계를 통해 비거래형 사업의 경우 정체되어있고 거래형 사업의 경우에 거래 수 및 양이 증가하고 있음을 알 수 있다.

2020년 2월 기준 산림부문 외부사업과 산림탄소상쇄사업의 등록 현황은 다음<표 1-1>및 <표 1-2>와 같다. 산림부문 외부사업은 4건, 산림탄소상쇄사업은 251건이다. 산림탄소상쇄사업에 등록된 거래형 사업은 총 167건이고 비거래형은 84건이다. 거래형으로 등록된 사업 167건 중에 산림경영유형은 124건, 식생복구유형 24건, 재조림유형 17건, 신규조림유형 7건, 산림바이오매스 에너지이용유형 3건, 목제품이용유형 1건이 등록되어 있다. 산림경영유형은 124건으로 전체 등록된 사업의 연간 흡수량이나 총 흡수량 측면에

서 전체 등록된 사업의 99%를 차지하며 이들 사업의 대부분 별기령 연장사업이다. 거래형 산림경영유형 115건 중 별기령 연장사업 102건, 수종갱신사업 5건, 택벌림경영사업 1건, 별기령 연장과 수종갱신 복합사업 7건이다. 그 중에서도 가장 많은 부분을 차지하는 별기령 연장사업은 개인 산주(72건)가 주도하고 있다.

표 1-1. 산림부문 외부사업등록 현황(2020년 2월 기준)

사업자	사업 이름	사업면적(ha)	총 흡수량(tCO2)
한국농어촌공사	새만금방풍림 조성사업 (신규조림/재조림)	17.2	3,756
경북도청	천년숲 조성사업(식생복구)	7.6	1,956
인제군청	가로수 조성을 통한 식생복구 묶음 감축사업(식생복구)	14.2	484
한국도로공사	통일희망나무농장 신규조림 사업(신규조림/재조림)	3.6	1,004
총계		43	7,200

자료: 한희 외(2019) 표 14-6. 재구성

표 1-2. 산림탄소상쇄사업등록 현황(2020년 2월 기준)

구분	사업 수	사업면적 (ha)	총 흡수량 (tCO2)
총 계	251	36,134	9,335,880
거래형	소계	167	26,653
	목제품이용	1	81
	산림경영	115	26,649
	바이오매스에너지 이용	3	1,831
	식생복구	24	42
	조림	7	22
	제조림	17	28
비거래형	소계	84	16,387
	목제품이용	5	9,480
	산림경영	9	6,688
	바이오매스에너지 이용	-	-
	식생복구	31	82
	조림	5	13
	제조림	34	124

자료: 한희 외(2019) 표 14-6. 재구성

<그림 1-2>에 따르면 2020년 2월 기준, 참여자 유형별 사업등록 건수는 지자체가 가장 많았고 그 다음이 개인 산주, 공공기관이 뒤를 이었다. 특히 거래형 사업에서는 개인 산주 대한 참여 비율이 압도적으로 높은 것을 확인할 수 있었다. 기업 역시 비거래형 보다는 거래형을 선호하는 것으로 나타났다.

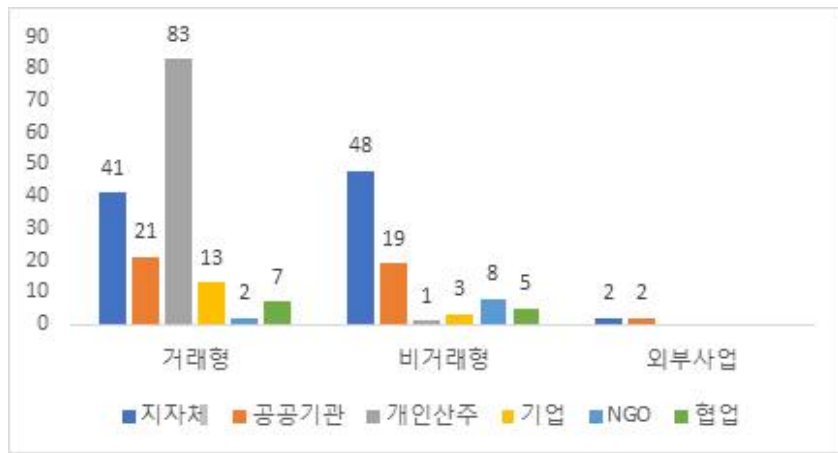


그림 1-2 참여자 유형 별 사업등록 건수

<그림 1-3>와 <그림 1-4>는 산림탄소등록부가 개설된 이후로 참여자 유형별 등록 건수와 사업 유형별 등록 건수를 시간의 흐름에 따라 나타낸 그래프이다. 전반적으로 사업을 등록하는 건수 증가하는 것을 볼 수 있는데 개인 산주의 등록 건수 성장에 눈에 띄며, 지자체의 등록 건수도 지속적으로 증가하고 있다. 거래형 사업의 등록 추이는 2016년부터 급증하고 있는 것으로 나타났다. 반면 비거래형의 경우 2014년 이후로 지속적으로 감소하는 추세를 보였다. 두 그래프를 종합해 보면 각각 개인 산주의 등록 건수와 거래형 사업의 등록 건수가 급격히 증가했는데, 이는 실제 개인 산주가 거래형으로 많이 참여하고 있음을 나타냈다.

연도별 산림경영유형 사업의 방법별 등록 동향을 보면, 2015년 가장 먼저 택벌림 경영과 벌기령 연장 사업이 1건씩 실시되었다. 2016년에는 벌기령 연장 1건, 수종갱신 2건, 벌기령 연장과 수종갱신 복합사업 2건이 실시

되었다. 2017년부터는 별기령 연장 사업만 25건으로 복합사업과 수종갱신이 각각 2건씩 실시되었다. 2018년에는 별기령 연장이 55건으로 가장 많이 등록되었으며 별기령 연장을 제외하고는 수종갱신 사업이 1건 등록되었다. 위의 내용을 종합해 본다면 개인 산주가 거래형 사업을 많이 등록하고 있고 그중에서도 별기령 연장 산림경영사업을 많이 등록하고 있음을 알 수 있다. 한편, 2013년부터 등록된 산림탄소상쇄사업은 2016년 등록된 개인 산주 사업 세 건과 2017년 등록된 기업의 사업 한 건, 총 네 건이 사업 중 취소되었다.

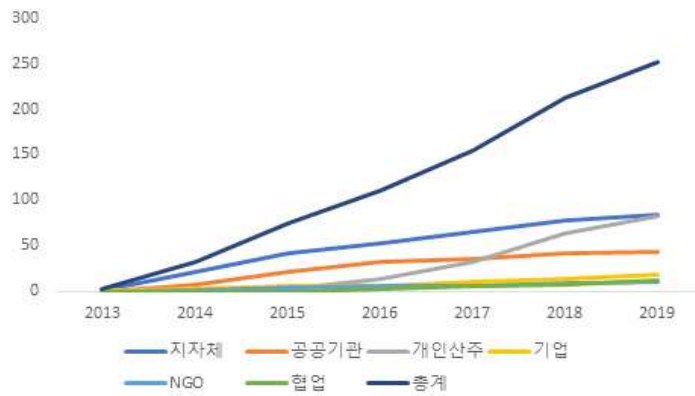


그림 1-3. 참여자 유형별 사업등록 추이



그림 1-4. 외부사업과 산림탄소상쇄사업등록 추이

외국과 우리나라 산림탄소상쇄사업의 프로토콜을 비교하면 서부기후이니셔티브(Western Climate Initiative, WCI)가 한국보다 보수적인 운영을 한다. WCI는 미국 캘리포니아, 캐나다 퀘벡 주가 함께 배출권 거래제와 연계하여 산림탄소사업을 시행한다. WCI는 캘리포니아 주의 (Climate Action Reserve, CAR)의 산림사업 프로토콜을 따른다. CAR 산림탄소 프로그램은 캘리포니아 주 정부가 주도하는 사업으로 CRT(Climate Reserve Tonnes)배출권을 발행하고 사업 기간을 100년으로 설정하였다. 현실을 완벽하게 반영한 산림 사업 시나리오에 의해 잠재적 결과를 정확하게 예측하기는 어렵기 때문에 산림탄소 축적 베이스라인보다 유지 혹은 증가가 보장되는 사업 기간을 100년으로 설정하였다. 이는 사업 수행 절차에 따라 수행되는 모든 보고와 검증이 100년 동안 지속되며 사업시작일부터 CRT를 100년간 받을 수 있는 자격이 주어진다. 반면 우리나라는 ‘탄소흡수원법 유지 및 증진에 관한 법률’에 따라 자발적 탄소시장에서 유통되는 산림탄소 배출권의 유효기간이 법적으로 30년 이하이다. 20년 이하일 경우 총 2회까지 연장하면 60년이 최대 유효기간이다.

3. 연구의 필요성

기후변화에 대한 산림의 중요성 인식은 국제사회의 합의와 정부의 인식에 따라 국내 온실가스 감축 로드맵에 반영되었다. 2018년 6월 수정된 우리나라 온실가스 감축 로드맵에서는 나무심기, 산림탄소상쇄사업 확대 등의 산림정책 강화를 통해 22.1백만 톤의 흡수량을 확보할 예정이다. Dudek and LeBlanc(1990); Sedjo and Solomon(1989), Angelsen et al.(2010); Eliasch 2008; Richards and Stokes(2004); Stern(2007) 한기주와 윤여창(2009), Galik and Jackson(2009) 등 여러 연구에 따르면 산림흡수원을 통한 탄소 배출 감축은 다른 대안들과 비교해 비교적 저렴한 수단이며 김대수 외(2016)는 공편익에 대한 이점을 강조하고 있다. 뿐만 아니라 부수적 수입원으로써 산주들의 관심도 증가하고 있다(민경택 외 2017). 한국거래소의 탄소배출권 거래 동향을 살펴보면 외부사업 인증실적(Korea Offset Credits, KOC)에 대한

수요는 꾸준히 증가하고 있으며 탄소배출권의 가격이 지속적으로 증가하고 있기 때문이다<그림 1-5>.



그림 1-5. 외부사업 인증실적(KOC) 가격 (출처: 상쇄등록부 시스템)

배출권거래제 외부사업은 전환부문, 에너지 신산업/이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Utilization, CCUS), 산림 흡수원, 국외감축 등 다양한 분야에서 배출권의 확보할 수 있다. 감축 수단 중에서도 산림 흡수원은 기후변화완화, 생물다양성 보전, 미세먼지 절감 등의 공편익과 산주들의 추가적 수익원으로서도 작용할 수 있다. 산림탄소상쇄제도가 ETS와 연계된다면 산림 부문의 국가 온실가스 감축 실적이 배출권 거래시장에서 거래됨에 따라 국가온실감축 목표 달성에 기여면서 산주의 수익도 보장할 수 있다 (배재수 2019). 국가 온실가스 감축목표 이행과 자발적 탄소시장의 이중계산의 우려를 극복하고 산림탄소상쇄사업이 국가 온실가스감축 목표 달성에 활용할 수 있게 하려면 이해관계자의 입장을 고려한 산림탄소배출상쇄권과 배출권거래제의 연계가 필요하다.

한편, 2020년 2월 기준, 국내 배출권등록부시스템에 등록된 국내 사업 407건 중 단, 4건 만이 산림탄소사업이다. 탄소배출권의 가치는 높아지는 반면 산림탄소배출상쇄권 공급량은 다른 온실가스 감축 수단보다 매우 적다. 세이의 법칙(Say's Law)에 따르면 ‘공급이 스스로 수요를 창출한다.’ 고 하였는데 이는 결국 공급이 존재해야 수요가 발생하고 시장이 형성된다는 뜻이다. 따라서 산림탄소배출상쇄권 공급을 유지 및 증진시키기 위한 노력이

필요하다. 별기령 연장에 의해 산림 내 탄소량의 유지 및 증진을 통한 탄소 배출상쇄 효과를 달성하기 위해서는 산주가 목재수확의 기회를 유보하는데에 따른 기회비용이 발생한다. 따라서 산주가 사업을 유지하고 더 확장할 수 있도록 산림탄소배출상쇄권 가격에 대한 수용가능금액 수준을 파악해볼 필요가 있다. 수용의사금액을 파악하면 산림탄소배출상쇄권의 생산자인 산주의 입장을 반영한 매수가격을 제시할 수 있게 됨으로써 그들의 참여 유인을 제공할 수 있다. Lindhjem and Mitani(2012)에 따르면 수용의사금액은 사업에 참여함으로써 얻지 못하는 최소 보상 수준이나 기회비용과 보상 잉여금의 합이다. 산림투자이론에 따르면 자신이 투자한 금액에 대한 혜택이 있어야 하는데(신승욱 2017), 산주가 기대하는 최소 보상 수준은 자신이 투자한 금액에 해당하는 사업의 비용에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 비용에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 알아볼 필요가 있다. Hein et al.(2017)의 연구 및 산림탄소등록부에 등록된 산림탄소상쇄사업등록 현황에 따르면 사유림 산주는 가장 큰 잠재적 산림탄소배출상쇄권 공급자이다. 산림탄소배출상쇄권 시장의 활성화 방법을 모색하기 위해서는 사유림 산주의 역할이 중요하다. 산림탄소등록부를 살펴보면, 등록된 거래형 산림경영유형은 거래형 사업의 전체 예상 탄소흡수량의 99%이다. 거래형 산림탄소상쇄사업 유형 중 산림경영유형은 65%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 산림경영유형 산림탄소생쇄사업 92건 중에 가장 높은 비중을 차지하고 있는 사업은 별기령 연장 사업(81건)으로 88%를 차지한다. 단연 높은 비중을 차지하고 있는 사업 주체는 개인 산주이며, 우리나라 전체 산림의 67%가 사유림인 것을 고려해볼 때 산림탄소상쇄사업의 활성화의 가장 큰 동력이 될 수 있는 중요한 존재이다. 따라서 본 연구는 거래형 산림경영유형 중 별기령 연장 중에서 가장 높은 비율을 차지하는 사업 주체인 산주를 대상으로 연구를 진행한다. 연구의 결과는 산림탄소상쇄제도가 배출권거래제와 연계 되었을 때 발생할 수 있는 산림탄소상쇄배출권 가격과 산림탄소상쇄사업에 따른 기회비용 간의 간격을 줄임으로써 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주의 참여 유지 및 확장을 독려하여 향후 제도 변화에 완충 역할 및 활성화 정책에 타당성을 부여할 수 있다.

제 2 절 연구의 목적

산림탄소상쇄사업은 산림의 생장률, 산림탄소상쇄사업 기간, 토지 및 기후 조건에 따라 수익성이 결정된다. 김영환 외(2016)의 연구에 따르면 산림탄소상쇄사업의 사업유형별 한계저감비용 산정 결과 산림경영 사업의 경우 컨설팅 비용만 지원할 때 탄소 가격에 상관없이 한계저감비용이 양수로 나타나 상쇄사업에 따른 수익을 기대하기 어렵다고 하였다. 사업비와 컨설팅 비용 모두를 정부로부터 지원받을 때는 탄소배출권 가격이 $1tCO_2$ 당 15천 원 이상이 되면 한계저감비용이 음수로 나타나 수익이 발생할 수 있다고 하였다. 또한 탄소배출권으로 인한 수익은 목재생산 수익보다 더 낮은 것으로 나타났다. $1tCO_2$ 당 배출권 가격이 15천 원일 때 수익은 별기령 연장일 경우 목재생산 수익은 탄소배출권 수익보다 5배가 높고, 25천 원일 때 3배, 50천 원일 때 1.4배 높다(한희 외 2019). 한편, 세이의 법칙(Say's Law)에 따르면 '공급이 스스로 수요를 창출한다'고 하였는데 이는 결국 공급이 존재해야 시장이 형성된다는 뜻이다. 공급을 확대하기 위해서는 생산자에게 수익성이 보장되어야 하지만 산림탄소배출상쇄권의 시장가격이 일정하지 않은 상태에서 수익을 계산하는 데 제한이 있다. 따라서 산림탄소상쇄 사업을 통해 이산화탄소 1톤을 흡수하는 소요되는 비용인 한계저감비용¹⁾을 감소시키기 위해서 탄소저감비용을 최소화하는 조건을 찾아볼 필요가 있다. 또한 산주의 참여를 이끌어내기 위해 산주가 수용 가능한 산림탄소배출상쇄권 가격과 가격 이외의 요인에 어떤 것들이 있는지 연구할 필요가 있다. 이러한 문제의식 및 연구의 필요성에 기반을 두어 본 연구는 다음과 같은 질문에 대한 답을 구한다.

첫째, “산림탄소배출상쇄권의 단위당 생산비용(원/ tCO_2)을 낮추는 요인은 무엇일까?”

1) 한계저감비용(원/ tCO_2)=(상쇄사업의 투자비용-수익)/이산화탄소흡수량.

『산림탄소상쇄제도 활성화방안 연구』(김영환 외 2016)

둘째, “특정한 가격 수준에서 산림탄소배출상쇄권을 공급하려는 사람들은 어떤 특성을 가지고 있을까?”

본 연구는 두 질문의 답을 구하기 위해 이 연구는 다음과 같은 목적을 세웠다. 첫째, 산림탄소상쇄사업의 단위당 생산비용을 계산하고 그 비용에 영향을 주는 요인을 찾는다. 둘째, 특정한 산림탄소배출상쇄권 가격하에서 지속적으로 상쇄권을 공급하려는 사람들은 어떤 조건에 따라 시장 참여 가능성이 달라지는지 규명하고자 한다. 아울러 사유림 산주의 지속 가능한 참여 및 공급 확대를 위한 정책적 제언을 도출하고자 한다.

제 3 절 연구 설계와 구성

1. 연구 설계

과학적 조사연구 과정은 첫째, 연구문제의 선정, 이론, 개념적 준거틀 및 가설 설정. 둘째, 조사 설계. 셋째, 자료의 수집 및 분석. 넷째, 결과 해석 및 결론 순으로 구성된다(남궁근 2010).

산림탄소상쇄사업의 낮은 수익성 때문에 산주의 이탈이 발생할 수 있고 이로 인해 발생할 수 있는 공급 저하를 연구 문제로 설정하였다. 이를 생산자 이론을 통해 이해하고자 하였다. 이를 위해 산주가 산림탄소상쇄사업에 참여해 생산자의 입장에서 판단하는 과정을 설명하는 연구 분석틀을 구성하고 가설을 설정하였다. 가설은 주제에 대해 어떤 결론을 도출하기 위해 조사가 가능한 구체적 변수 간의 관계로 나타낸 것으로(채구묵 2015), 결합 생산물을 선택하는 과정에서 산림탄소상쇄사업 참여 의사에 영향을 주는 요인들이 사업 참여에 유의한 영향을 미칠 것이라고 예상하였다. 즉 과학적 조사연구의 목적은 이러한 가설의 진위 여부를 실증적으로 검증하여 결론을 도출하는 것이다.

가설 설정 이후, 측정하고자 하는 대상의 개념화 및 조작화를 실시하였으며 데이터 수집 방법을 선택하고, 연구 대상을 선정하였다. 개념화 및 조작

화는 측정하기 어려운 개념을 측정 가능한 변수로 정의하는 것으로, 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의사 결정에 대해서 참여 혹은 미참여를 종속변수로 설정하고, 수용의사금액, 산주 특성, 자원 특성, 위치 특성을 독립변수로 설정하였다. 조사 설계는 계량적 연구를 위해 설문조사 및 2차 자료 조사 통한 데이터 수집 방법을 택하였다. 연구는 국내 산림탄소상쇄사업의 거래형 산림경영 유형 별기령 연장 사업에 참여하고 있는 개인 산주 중 설문조사에 참여하고자 하는 산주 36명을 전체 대상으로 하였다.

자료의 수집 단계에서는 산주와 관련된 데이터를 수집 할 때 응답자의 직접기입 방식을 원칙적으로 우편 및 직접 전달 방법을 사용하였고, 추가로 보완해야 할 사항은 이메일과 전화 혹은 팩스로 해결했다. 또한 사업대상지의 특성이나 자원 특성 등을 조사할 때는 산림탄소상쇄사업 사업계획서를 이용하여 자료를 수집하였다. 단위당 생산비용에 관한 분석을 실시할 때는 임분수확모델을 이용하여 다중선형 회귀분석을 통해 가설을 검증하였으며 산주의 참여 의사에 관한 분석을 실시할 때는 Hanemann(1984)의 무작위효용모델을 이용해 로지스틱 회귀분석 통해 해석하여 가설을 검증하였다.

분석 결과를 바탕으로 해석하고 결론을 내렸다. 연구 문제에 대한 결론을 경험적 근거에 의해 도출된 결과에 따라 구성하고, 이론적 검토 및 정책적 의의를 도출하였다. 연구 설계의 과정을 도식화하여 나타내면 <그림 1-6>과 같다.

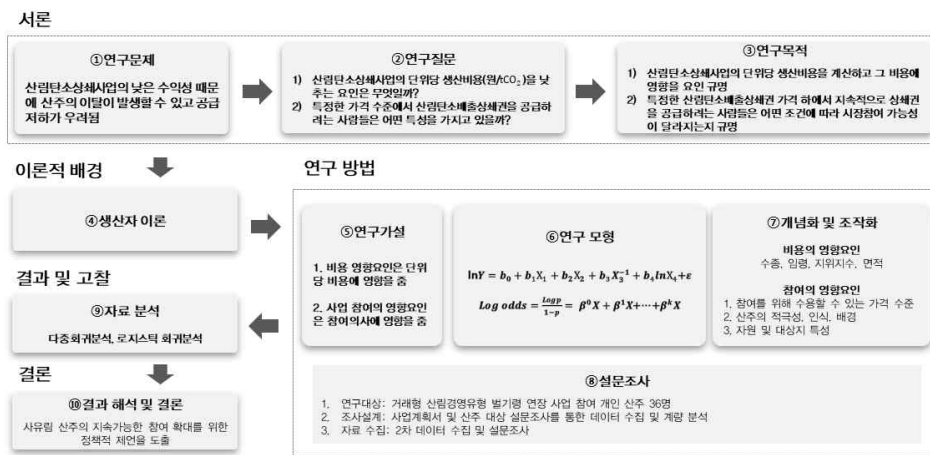


그림 1-6. 연구 과정 설계

2. 연구 구성

본 논문은 서론, 이론적 배경, 연구 대상 및 방법, 결과 및 고찰, 결론 순으로 다섯 장으로 구성되어있다.

제 1장, 서론은 현실적인 상황과 문제를 바탕으로 연구의 문제를 제기하고 연구의 필요성을 제시한다. 연구 문제를 해결하기 위해 가질 수 있는 질문을 정리하고 연구 문제를 해결할 수 있는 연구 목표를 제시한다.

제 2장, 이론적 배경은 논문의 기반인 생산자 이론 및 효용이론에 관한 이론적 틀을 구성하고 연구의 주제 또는 구체적인 연구 문제와 가설을 설정하게 기존 이론과 선행연구를 통해 연구 가설의 근거를 제시한다.

제 3장, 연구 방법은 연구 대상의 소개 및 선정 이유, 설문조사 과정, 변수 설정과 조사 설계 과정 등 일련의 분석 방법을 설명하고 분석 모형을 제시한다.

제 4장, 결과 및 고찰은 가공된 데이터의 분석 결과를 제시하고 가설을 검증하는 과정을 거쳐 연구 목표를 달성하고 분석 결과가 가지는 의미를 고찰한다.

제 5장, 결론은 산림탄소상쇄사업 단위당 생산비용에 영향을 미치는 요인과 산림탄소상쇄사업 참여에 영향을 미치는 요인을 근거로 산주의 사업 참여 결정의 과정을 요약하고 학문적, 정책적 시사점을 도출한다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 생산자 이론

1. 생산변환곡선(product transformation curve)

동일한 생산과정에서 함께 생산되어 나오는 제품을 결합생산물(joint product)라고 하는데, 이윤극대화를 추구하는 생산자는 이들을 어떤 조합으로 생산할 것인지에 대해 결정해야 한다. 예를 들어 산주가 산림탄소배출상쇄권, 목재를 생산할 수 있다. 토지, 노동 등을 비롯한 여러 생산요소를 하나로 묶어 Z 라는 하나의 투입 요소로 표시하면 투입 요소를 z 만큼 투입했을 때 생산할 수 있는 산림탄소배출상쇄권과 목재는 $z = h(x, y)$ 로 나타낼 수 있다(이준구 2015). 이 함수는 투입되는 생산요소 Z 의 단위로 표현된 생산비용을 두 결합생산물 양으로서 함수로 나타낸 것이다. 투입 요소의 양 z_0 에 의해 생산될 수 있는 산림탄소배출상쇄권과 목재의 조합들은 $z_0 = h(x, y)$ 의 관계를 만족시키며, 그래프로 나타내면 <그림 2-1> 같은 생산변환곡선이 된다.

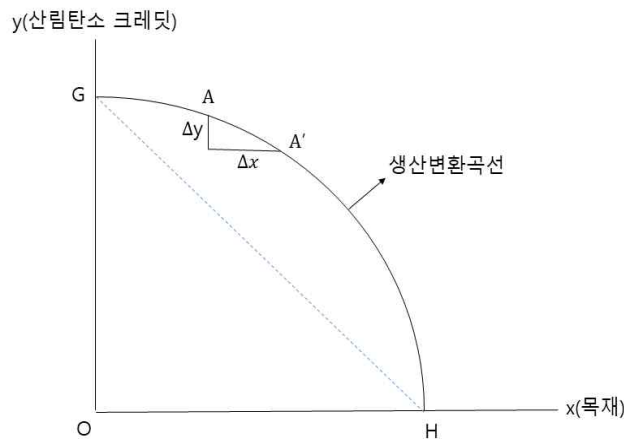


그림 2-1 생산변환곡선

생산변환곡선은 주어진 투입 요소에 의해 최대한으로 생산 가능한 상품들의 조합들로 구성된 집합을 그림으로 나타낸 것이다. 생산변환곡선의 기울기를 한계생산변환율(marginal rate of product transformation, MPT)이라고 부르는데, 생산과정에서 산림탄소배출상쇄권과 목재가 교환되는 비율을 나타낸다. 예를 들어 위 그림에서 A점에서 A' 점으로 움직인다고 할 때, 이는 산림탄소배출상쇄권의 생산을 Δy 만큼 줄이고 그만큼 절약된 생산요소로 목재에 투입해 Δx 만큼의 목재를 더 생산한다는 뜻이다. A와 A'점 사이의 간격이 매우 작아 Δx 의 절대값이 0에 가깝다면 $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ 는 A점에서의 기울기가 된다. 생산변환곡선의 기울기를 나타내면 다음과 같다.

$$MRT_{x,y} = -\frac{\Delta y}{\Delta x} = -\text{생산변환곡선의 기울기}$$

목재생산을 약간 늘리는 데 필요한 투입 요소의 양을 h_x , 산림탄소배출상쇄권 생산을 약간 늘리는 데 필요한 투입 요소의 양을 h_y 로 나타내면, A점에서 A'로 옮겨갈 때 생산요소 투입량의 변화를 $h_x \cdot \Delta x + h_y \cdot \Delta y$ 로 표현할 수 있다. A와 A' 사이의 생산요소 투입량 변화는 0이기 때문에 아래 식과 같은 관계로 나타낼 수 있다.

$$h_x \cdot \Delta x + h_y \cdot \Delta y = 0$$

이를 다시 정리하면 h_x 와 h_y 는 투입 요소 Z 단위로 표시된 목재와 산림탄소배출상쇄권 생산의 한계비용(MC_x, MC_y)으로 해석할 수 있다. 이는 한계생산변환율이 두 결합생산물 사이의 한계비용의 비율과 같음을 나타낸다.

생산변환곡선은 원점에 대해 오목한 모양인 이유는 범위의 경제와 밀접한 관련을 갖고 있으며 산주가 목재와 산림탄소배출상쇄권을 함께 생산하는 체제가 각 산주가 하나씩 생산하는 체제보다 비용상에서 이점이 있다는 것

을 의미한다. 이는 한계생산변환율체증의 법칙(law of increasing marginal rate of product transformation)이 성립한다는 것을 의미한다. 생산요소의 양이 주어져 있는 상황에서 어떤 한 재화의 생산을 늘릴 때 이로 인해 희생되는 다른 상품의 양이 점차 커지는 것을 의미하며, 이를 기회비용체증의 법칙(law of increasing opportunity costs)라고 일컫는다.

만일 두 체제 사이에 비용상 차이가 없다면 생산변환곡선은 <그림 2-1>에서 점선으로 나타난 선분 GH가 될 것이다. G점과 H점은 한 생산자가 z_0 로 주어져 있는 투입 요소를 모두 사용해 한 가지 상품만을 생산하는 경우를 나타낸다. 만약 어느 생산자가 이 두 상품을 모두 생산해도 비용상의 이점이나 불리한 점이 없다면 z_0 의 투입 요소로 생산할 수 있는 두 상품의 조합은 선분 GH 위의 점들로 나타난다. 생산변환곡선이 원점에 대해 오목하다는 것은 한 생산자가 두 상품을 함께 생산할 때 GH가 의미하는 것보다 더 많은 산림탄소배출상쇄권과 목재를 생산할 수 있다는 뜻이며 범위의 경제가 존재한다는 것을 의미한다.

2. 등수입곡선과 이윤극대화

위에 나타난 생산변환곡선은 투입 요소의 양이 z_0 로 주어졌다는 가정하에 도출된 것이다. 투입 요소의 수준이 주어졌다는 것은 생산비용이 일정하다는 것을 의미하며, 이 상황에서 이윤 극대화는 수입 극대화를 뜻한다. 산림탄소배출상쇄권과 목재의 가격을 각각 P_x 와 P_y 로 나타낼 때 이 두 재화를 판매하여 얻을 수 있는 총 수입은 다음과 같다.

$$R = P_x x + P_y y$$

이 함수관계를 그림으로 나타내면 기울기가 $-\frac{P_x}{P_y}$ 이고 y축 위의 절편이 $\frac{R}{P_y}$ 인 선분을 얻는데, 이것이 바로 등수입곡선(iso-revenue curve)이다. 여

기에서 R은 아직 정해지지 않은 총 수입을 나타내므로, 그 값에 따라 다양한 등수입곡선이 도출된다. 아래 <그림 2-2>에는 R_1, R_2, R_3 의 세 가지 총수입 수준에 대한 각각 다른 등수입곡선이 있다. 여기에 생산변환곡선을 그려 넣으면, 주어진 생산변환곡선에 대해 총수입이 극대화되는 것은 J점이며 이때 총수입이 R_2 가 된다는 것을 발견할 수 있다.

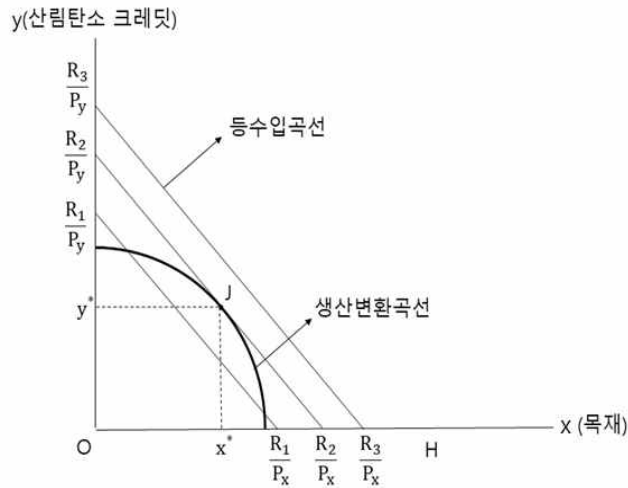


그림 2-2. 등수입곡선과 이윤극대화

그러므로 이윤극대화를 추구하는 생산자는 J점이 의미하는 산림탄소배출 상쇄권과 목재의 조합 x^* 와 y^* 을 생산하게 된다. 이 점에서는 생산변환곡선과 등수입곡선의 기울기가 일치한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$MPT_{x,y} (= \frac{MC_x}{MC_y}) = \frac{P_x}{P_y}$$

요약하면 목재 가격/탄소배출권 가격의 비율에 따라 생산자 최적 생산물 조합 지점이 결정된다. 개인 산주들은 각자 가지고 있는 환경이 모두 다르다. 어떤 산주의 사업대상지는 목재생산을 하는데 위치가 좋지 않아 비효율적이라면 목재 가격이 상대적으로 더 낮게 될 것이다. 반면 목재를 생산하

는데 좋은 입지 조건을 가진 산주는 상대적으로 목재 가격이 더 높을 것이다. 탄소배출권 가격이 시장 결정 원리에 따라 올라간다면 분모의 값이 커지기 때문에 생산변환곡선 상에서 더 y축에 가까운 지점으로 움직이게 되고 탄소배출권 가격이 내려간다면 분모의 값이 작아져 x축에 가까운 지점으로 움직이게 된다. 여러 요인에 의해서 개인 산주는 목재와 산림탄소배출상쇄권에 대한 상이한 상대가격을 가지게 된다. 각 산주는 이윤극대화를 하기 위해 산림탄소 가격 변화에 따라 생산량을 조절하기 때문에 산림탄소배출상쇄권의 수용의사금액을 산림탄소배출상쇄권의 가격으로 본다면 생산자의 입장에서 가격 비율을 통한 생산과정에서의 선택을 이해할 수 있다.

제 2 절 연구사

1. 산림탄소사업 및 산림보전사업에 대한 수용의사금액

국내에서 가상가치평가법(Contingent Valuation Method, CVM)을 이용해 산림탄소상쇄사업의 가치를 평가한 연구는 활발히 이루어지지 않았다. 수용의사금액은 어떤 제도나 환경으로 인해 대상자가 받는 피해에 대해 수용할 수 있는 수준의 보상인데, 큰 편의를 가질 수 있는 단점이 있지만 참여 산주 개인들이 생각하는 산림탄소상쇄사업의 참여 가치가 직접적이고 직관적으로 반영된 결과라는 점에서 의의가 있다. 개념적으로는 이미 발생한 정책이나 사건으로 인해 변화된 환경을 수용할 수 있는지에 대한 질문에 적합한 개념이다.

산주를 대상으로 진행되는 수용의사금액(willingness to accept, WTA) 연구는 크게 보호구역에 대한 산주의 WTA 보상에 관한 연구와 산림탄소 사업 보상 및 배출권의 가치 대한 WTA에 관한 연구가 있다. 보호구역에 대한 WTA 보상 연구는 종속변수가 연속형 변수(continuous data)인 WTA이고 산림탄소 사업 WTA 연구는 종속변수가 참여 혹은 미참여로 명목변수(nominal data)이고 독립변수에 WTA가 연속형 변수로 설정되어 있다.

Lindhjem and Mitani(2012)는 노르웨이의 자발적 보존 프로그램에서 비산업적 사유림 산주의 선호도와 사업등록에 대한 WTA 보상을 분석하였는데 등록된 사업 대상지의 면적(-), 생산적인 숲의 비율(+), 거주지와 사업대상지의 같은 관할 구역 여부(-)에 따라 WTA의 변화가 통계적으로 유의미하게 나타났다. Bush et al.(2013)은 과대치가 최소화된 WTA를 도출하기 위해서 임계점(Provision Point Mechanism, PPM)의 개념을 사용하여 우간다 보호구역의 지역 수준의 비용을 측정하였는데 PPM이 적용된 집단(+)이 적용되지 않은 집단보다 WTA 값이 적게 도출되었고, 로짓모델에서 교육 수준(+), 연간 가계 순수익(+), 경작면적(+), TENGELE라는 특정 지역(+)에서 통계적으로 유의미하게 나타났다. 토빗 모델에서는 연간 가계 순수익(+), 경작면적(+), TENGELE라는 특정 지역(+)에서만 통계적으로 유의미하게 나타났다.

Miller et al.(2012)는 로지스틱 회귀 분석을 통해 미국의 가족림 산주의 산림 탄소 상쇄사업 참여에 영향을 미치는 요인을 조사하고 산주의 참여 가능성을 추정하기 위한 연구를 실시했다. 그 결과 산림 탄소 사업의 특성과 산주 및 대상지의 특성이 산림탄소상쇄사업에 참여 결정과 관련이 있는 것으로 나타났다. 구체적으로 탄소배출권 금액(+), 계약 기간(-), 성별(+), 기타 비시장적 산림휴양 가치(+), 추가수입의 요구(+), 기후변화에 대한 태도(+), 부채 상태(-), 토지점유율 및 총 소유 면적(+)이 중요한 결정요인으로 판명되었다. Häbesland et al.(2016)도 역시 같은 노르웨이 가족림 산주의 참여 가능성을 추정하기 위해 로지스틱 회귀분석을 이용하였다. 연구 결과 제안된 금액(+)에 대해서 높은 금액을 채택한 사람일수록, 소유 면적(+)이 더 클수록, 교육 수준(+)이 더 높을수록, 기후변화에 대한 태도(+)가 긍정적일수록 참여 가능성이 더 높은 것으로 나타났고 비시장재 임산물 가치의 중요성(-)이 높을수록, 경영활동에 의한 장벽(-)이 높을수록 참여 가능성이 낮았다. 비시장재 임산물의 경우 기대 방향(+)-과는 반대의 방향이 나왔는데, 노르웨이 산주들의 경우 산림탄소사업의 관리와 비시장재 임산물 관리를 다른 측면에서 바라보고 있기 때문이라고 해석했다. Alhassan et al.(2019)는 사우스캐롤라이나의 개인 산주에게 캘리포니아 탄소 시장에 참여하기 위한 보상을 WTA로 추정하였다. 그 결과 산주들이 에이커당 연간 67달러를 기꺼이

받아들일 수 있다고 답변했다. 산림 생태계 보존에 관심(+)이 있는 산주들이 관심이 없는 산주들보다 참여 가능성이 더 높은 것으로 나타났다. 과학자나 정부로부터 기후변화에 대한 정보를 신뢰(+)하는 산림 소유자들은 그렇지 않은 사람들보다 참여하려고 하는 의지가 강하게 나타났다.

2. 산림탄소상쇄사업 참여에 대한 기회비용

산림탄소상쇄사업을 참여하는 산주는 사업을 시작하거나 더 확장하기 전에 사업을 진행함에 따라 포기해야 하는 금액을 고려해야 한다. 우선 산림탄소상쇄사업 산림경영 유형에서 벌기령 연장을 시행하려면 사업 기간만큼 되기 이전에는 해당 사업지에서 벌채할 수가 없다. 따라서 해당 산림지의 베이스라인 벌채량이 그 사례의 목재 수확 기회비용이 된다(Golub et al. 2009, Fisher 2011, 김명은 2013, Ndjondo et al. 2014). 산림탄소상쇄사업 벌기령 연장을 한다는 것은 그 대상지의 목재를 벌채하지 못하고 토지이용 역시 자유롭지 못하다는 것을 의미한다. 이어 제시되는 선행연구들은 산림탄소상쇄사업의 기회비용을 추정하는 연구이다. 기회비용이란 크게 벌채 제한으로 인한 목재 수익과 산림의 토지이용 제한으로 인한 수익의 감소분으로 정의된다(Deveny et al. 2009, Fisher 2011, 김명은 2013, Ndjondo et al. 2014).

탄소상쇄의 비용 추정에는 상향식 공학 모형(Bottom-up engineering model), 부분 최적화 모델(The sectoral optimization model), 계량적 모델(Econometric model) 세 가지 접근법이 있는데, 이 세 가지의 방법은 추정 방법이 다르며 값이 다르게 추정된다(Dempsey et al. 2010, Adetoye et al. 2018). 상향식 공학 모형은 일반적으로 평균 땅값 또는 토지 임대료를 사용하여 다른 용도로 전환하는 기회비용을 추정한다(Dudek and LeBlanc 1990; Moulton and Richards 1990; New York State, 1991; Richards et al. 1993; Richards 1997; Sedjo and Solomon 1989; Van Kooten et al. 1992). 여기서 기회비용은 농업생산에서 얻은 예상 이익과 농업용 토지를 산림용 토지로 전환하는 비용을 합산한다. 관측 가능한 정보를 이용하여 계산의 투명성이

높다는 것이 장점이며, 토지 소유자의 결정에 영향을 미치는 관측 불가능한 요인에 대해 설명할 수 없다(Adetoye et al. 2018). 부분 최적화 모델은 일반적으로 농업과 임업 시장의 모델을 결합하고 두 부문 사이의 상호작용을 설명할 수 있다(Adams et al. 1993; Alig et al. 1997; Sohngen and Mendelsohn 2003). 하지만 상향식 공학 모델과 마찬가지로 부분 최적화 모델은 관측하기 어려운 토지 소유주에의 기회비용을 명확하게 설명할 수 없다는 것이 단점이다. 계량적 모델에서는 임업, 농업 및 기타 토지 부문에서 토지 이용 선택과 상대적 수익 관계를 확인하기 위해 실제 토지 이용 변화 데이터를 분석한다(Stavins and Richards 2005). 이 모델은 실제 과거 데이터에 기초하기 때문에 투자에 직면한 토지 소유자의 불확실성, 토지 산림 및 용업 용도로부터 토지 소유자의 비화폐성 수익, 유동성 제약, 기타 민간 시장 또는 시장 비용이나 편익 등의 요소를 암묵적으로 포착할 수 있다(Stavins et al. 2006). Van Kooten et al.(2002)의 연구는 계량적 모델에서 관측할 수 없는 인센티브가 왜 중요한지를 입증했다. 계량적 접근법은 상향식 공학 모형 및 최적화 방법보다 더 높은 비용 추정치를 산출한다. 가장 유력한 이유는 계량학적 접근방식이 엔지니어링 및 최적화 모델에서 포함되지 않는 여러 요인을 설명할 수 있기 때문이다.

산림탄소의 기회비용에 있어서 토지이용에 대한 부분을 포함하는 것이 맞지만, 측정이 어렵다. 각 대상지의 임대료는 정해진 바가 없어 협상을 통해 정해야 하며, 토지 가치에 대해 기회비용에 상정하기는 현실적인 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 생산자의 입장에서 목재생산과 산림탄소배출상쇄권 두 가지 결합생산물을 생산한다고 할 때의 기회비용이기 때문에 산림탄소배출상쇄권 공급의 기회비용을 목재 수확 수익의 감소분으로 정의하고 수용의사금액의 기준으로 삼았다.

제 3 장 연구방법

제 1 절 연구 대상

1. 모집단과 표본

산림탄소상쇄사업 거래형 사업 중에서 가장 높은 비율을 차지하고 있는 사업 유형은 벌기령 연장 사업이다. 벌기령 연장 사업을 시행하는 주체 중에서 가장 높은 비율을 차지하고 있는 개인 산주 전체 67명이 모집단이다. 전수조사를 시행하려고 하였으나, 설문조사에 응하고 싶지 않다는 의사를 밝혀온 산주와 설문지를 보고 답변이 어렵다고 회신한 산주들을 제외하여 총 36명을 표본으로 하였다. 이는 전체 모집단의 52.9%에 해당하는 비율이다.

2. 연구대상지 개황

산림탄소상쇄사업 거래형 벌기령 연장 사업유형에 참여하고 있는 개인 산주 36명을 대상으로 조사하여 전국에 있는 각 대상지 전체가 연구의 지리적 범위에 해당한다. 사업의 대상지와 산주 거주지역을 표로 나타내면 다음 <표 3-1>과 같다. 서울과 광주, 부산과 같은 도시에는 산림탄소상쇄사업 대상지가 없었고 경북에 가장 많은 대상지가 있었다. 실제로 산주가 거주하는 지역은 서울과 경북이 가장 많았는데 서울에 사는 산주들은 경북, 강원, 전북, 충남 등 여러 지역에 대상지에 사업을 실시했다. 경북에 사는 산주들은 50% 이상이 경북에 대상지를 가지고 있었다. 응답을 회수한 표본은 대부분 모집단의 50% 이상의 응답률을 보였으나 강원, 대구 지역은 응답률이 0%에 그쳤다. 표본에서 가장 사업대상지 면적이 넓은 곳은 경북으로 355.52ha였고 충북이 349.67ha로 그 뒤를 이었으며, 전북 231.83ha, 경남 205.22ha, 전북 95.33ha, 충남 50.86ha, 울산 46.36ha, 강원 30.56ha 순이었다. 표본의 실

거주지는 모집단의 약 54%정도로 나타났으며 표본의 사업 대상지는 전체 모집단의 40%정도로 나타났다.

표 3-1. 사업 대상지와 산주의 실거주지

지역	모집단		표본		비율	
	실거주지	대상지	실거주지	대상지	실거주지	대상지
서울	12	0	7	0	0.58	0.00
경기	10	1	6	0	0.60	0.00
강원	6	8	0	2	0.00	0.33
경북	11	17	6	9	0.54	0.53
경남	7	10	3	5	0.43	0.50
전북	3	10	3	6	1.00	0.60
전남	7	9	3	4	0.43	0.44
충북	3	3	3	3	1.00	1.00
충남	6	9	3	6	0.50	0.66
대구	1	0	0	0	0.00	0.00
부산	1	0	1	0	1.00	0.00
울산	0	1	0	1	0.00	1.00
인천	1	0	1	0	1.00	0.00
합계	68	68	36	36	0.54	0.39

제 2 절 연구 분석 틀

1. 산림탄소상쇄사업의 수용의사금액

WTA는 환경질의 악화를 기꺼이 받아들이는 것에 대한 보상금액을 의미한다. Kramer, Sharma and Munasinghe(1995)는 마다가스카르의 분수령 보호를 위해 지역 농민들이 토지 사용을 수정하는데 필요한 보상금을 추정했고, Smith et al. (1998)은 페루 농민들 사이에서 토지 이용 변화를 유도하는데 필요한 잠재적 보상 지급액을 분석하기 위해 WTA 접근법을 사용했다. Bush et al.(2013)에 따르면 WTA 접근방식의 선택은 특히 산림 보존과 REDD+를 통한 탄소 배출이라는 맥락에서 산림자원에 대한 접근권 상실에 대한 보상이 정책 및 관리에서 더욱더 폭넓게 논의되고 있다. 본 연구에서는 WTA 접근방식을 통해 산림탄소상쇄사업을 지속적으로 참여함으로써 포기해야 하는 기회비용에 대한 대가를 시장가격 범위 내에서 추정한다. Harrison, Lau and Rutström(2004)은 WTA 설문에서 고안된 시나리오를 받아들이지 않으려는 응답자가 나타나고 응답자 간에도 편향이 나타난다고 하였다. WTA에서 나타나는 편향은 응답자들이 환경적 질이나 접근성의 변화로 인한 혜택의 손실을 과대평가하려는 경향이 있기 때문이라고 밝혔다. Hammack and Brown(1974)의 연구에 따르면 WTA를 사용하여 얻은 추정치는 4배가량 차이가 났으며, 다수의 선행연구에서도 지불의사금액(willingness to pay, WTP)형식보다 더 큰 편향을 가진 것으로 나타났다. 이러한 경향 때문에 WTP가 WTA보다 더 선호되어왔다. 하지만 본 연구에서는 어떤 일정 수준의 효용을 유지하는 것을 전제로 가격 및 환경 수준의 변화에 대해 지불해도 좋은 금액인 WTP의 개념보다는 보상받기를 희망하는 금액인 WTA의 개념이 더 적당하다고 판단되어 WTA를 사용한다. 산림탄소상쇄사업에 참여하게 된 산주들은 산림탄소상쇄사업에 참여하는 대신 그 사업 대상지에서 울릴 수 있는 목재 수확을 통한 수익을 포기하고 산림탄소상쇄사업에 참여를 하게 된다. 즉 산림탄소상쇄사업에 참여하는 산주가 목재 수확의 기회를 유보하는 데에 대한 보상이 필요하다. 권오상(2011)은 시장적 비

시장적 가치를 추정하는 다양한 방법을 다음 <표3-2>과 같이 정리하였다.

표 3-2. 비시장적 가치 추정 방법

측정방법		주요 분석 모형	적용 대상
비시장적 방법	현시선호법	회피행위모형	사망 및 질병위험성, 쾌적함, 휴양 및 경관 생태계 보존 시설물 보존
		특성임금모형	사망위험성 감소, 질병위험성 감소
		특성가격모형	쾌적함, 휴양가치, 경관가치
		휴양수요모형	휴양가치, 경관가치
	진술선호법	가상가치평가법	모든 종류의 편익
		선택실험법	
		가상순위 결정법	
	혼합모형	현시선호법 +진술선호법	현시선호법이 적용될 수 있는 모든 종류의 편익
	모의시장분석법	실험경매법	모든 종류의 편익
		편의이전	기존의 현시 혹은 진술선호 연구 자료 활용

자료: 권오상. 2011. 환경경제학 제 2판 p413. 재구성

이 연구에서는 모든 종류의 편익을 추정할 수 있는 CVM을 사용하여 WTA를 추정하였다. 이 방법은 이론적 근거 및 경험적으로 가장 많은 연구가 이루어진 방법으로 현재 환경 및 문화재 등의 가치추정에 널리 쓰이고 있는 방법이다(송혜인 외 2014). 수용의사금액을 유도하는 질문 방식은 입찰식 질문 방법과 양분선택형 질문을 채택하였다<표 3-3>. 양분선택형 중에서도 다중양분선택형 질문을 선택하였는데 이는 질문을 더 많이 진행하여 더욱 구체적인 설문 대상자의 답변을 기대할 수 있으며 아래 질문 설계는 Langford et al.(1996)와 Bateman et al.(2001)를 재구성하였다.

표 3-3. WTA를 유도하는 질문 방식

	질문 방법	특징
개방형(Open-ended)	얼마나 지불할 것인지 자유 회답	무응답이나 저항응답 많을 수 있음
입찰식 질문 (Iterative Bidding)	최초 제시 수용금액에 “예” 라고 답하면 금액을 높여가면 반복적으로 질문	최초 제시금액의 영향을 많이 받고 우편으로 조사할 수 없음
지불방식 질문 (Payment card format)	지불카드에 금액을 제시하고 선택하게 함	무응답이 적지만 제시한 금액과 금액의 폭이 응답에 영향을 줌
양분선택형 질문 (Dichotomous Choice)	금액을 제시하고 “예” “아니오” 로 선택하게 함	대답하기 쉽지만 다수의 표본이 필요하고 최초 제시금액에 따라 응답 거부 가능성이 높음

자료: 이승길(2005); 김태희(2009); 박소희(2017)에서 인용한 것을 재구성

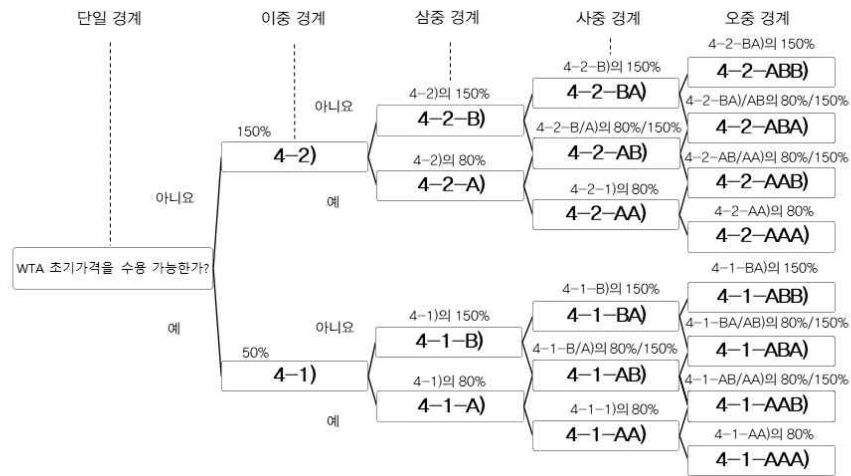


그림 3-1. 다중 경계 양분선택형(multiple-bounded dichotomous choice) 질문 설계

<그림 3-1>과 같이 입찰식 질문과 양분선택형 질문을 여러 번 물어보는 형식으로 설계하였다. 먼저 초기 가격을 설정하고 그 가격을 기준으로 수용이 가능하면 ‘예’, 수용이 가능하지 않으면 ‘아니오’ 를 선택한다. 질문은 총 다섯 번 하게 된다. 초기 가격을 수용하지 못할 때, 수용 가능할 때 각각 150%와 50%로 가격을 설정하였다(Chung et al. 2017). 두 번째 질문부터는 150%, 80%로 맞추어 설문 문항 수를 줄였다. 예를 들어 질문 설계의

예시 <그림 3-1>를 참고하여 설명하면 4-2-B)에서 ‘아니요’를 선택하고 다음 질문에서 ‘예’를 선택했을 때 4-2-ABA)가 되고 4-2-B)에서 ‘예’를 선택하고 다음 질문에서 ‘아니요’를 선택했을 때 결과가 4-2-ABA)로 같게 된다. 이처럼 설계하면 설문 문항의 선택지가 줄어들어 설문지 분량을 줄일 수 있다. 질문이 다섯 번인 만큼 설문을 진행하는데 응답 소요 시간이 너무 오래 걸리면 설문 대상자에게 피로감을 줄 수 있기 때문에 설문 문항을 줄이는 전략을 세웠다(이윤석 외 2008). 입찰식 질문의 단점인 시작점 편향의(starting point bias)을 보완하기 위해서 초기 제시금액은 PPM을 이용해 가능한 범위 내에서 10,000원, 15,000원, 20,000원, 25,000원 총 4개로 설정하였다(Boyle et al. 1985).

2. 보상가격 상한선 설정

Poe, Rondeau and Schulze(1999)는 PPM(Provision Point Mechanism, PPM)라는 개념을 도입했다. 개인에게 보상할 수 있는 총액이 개인이 받고자 하는 보상의 합보다 크면 공공재가 제공되고 개인에게 보상할 수 있는 총액이 개인이 받고자 하는 보상의 합보다 작으면 공공재가 제공되지 않는 개념이다. 공공재를 얻고자 하면 그만큼 자발적으로 부담해야 많이 해야 하므로 공공재의 제공에 자발적인 기여를 촉진하고 무임승차를 줄일 수 있는 방법이다. Provision Point(PP)의 지정은 개인들이 자신이 생각하는 가치를 과대평가하는 가능성을 감소시켜 진정한 WTA를 보다 정확하게 측정할 수 있게 한다. WTA 설정에서, PP는 개인에게 보상할 수 있는 총 금액의 한계치로 PP이상의 금액을 받고자 해도 받을 수 없다. PPM 메커니즘에 대해서 정리하면 다음과 같다. 아래 수식에서 B_i 는 보상금액에 대한 개인의 보상받기 원하는 금액을, PP는 사용 가능한 금액 한도를 나타내며 N은 청구 횟수를 나타낸다. 보상받기 원하는 금액의 합계(sum of B_i)가 사용 가능한 예산(PP)을 초과한다면, $\sum_{i=1}^N B_i > PP$ 새로운 규제나 강제가 시행되지 않는다고 보상금액이 지불되지 않는다. 보상받기 원하는 금액의 합계가 사용 가능한 예산

과 같다면, $\sum_{i=1}^N B_i = PP$ 규제나 강제가 집행되고 보상이 지급된다. 사람들은 그들의 청구금액에 정확한 양을 지급된다. 보상받기 원하는 금액의 합이 보상을 위한 이용 가능한 예산보다 적다면, $\sum_{i=1}^N B_i < PP$ 보상이 이루어질 수 있고 사람들은 그들의 청구금액 이외에 예산의 남아있는 부분의 비율을 추가해 청구 받는다. 요약하면, PP의 지정은 개인들이 자신의 가치를 큰 금액으로 과대평가하는 입찰을 할 가능성을 감소시켜, 진정한 WTA를 보다 정확하게 측정할 수 있도록 한다. 본 연구에서는 과대치가 최소화된 WTA를 도출하기 위해서 PPM의 개념을 도입하여 산림탄소상쇄사업 단위의 적정 가격을 측정한다. PP는 사용 가능한 예산으로 본 연구에서는 현실적으로 산주에게 제시할 수 있는 최대 수용의사금액의 한계치가 된다. 즉 사용가능한 예산을 KOC가격인 4만 원으로 설정하였다. KOC가격보다 높은 가격을 산주가 수용의사금액으로 답변을 한다고 해도 탄소배출권 시장에서 매수호가 4만 원 이하이기 때문에 외부사업 인증실적을 4만 원을 초과하는 금액에 사려는 수요자가 없을 것이기 때문이다.

3. 산림탄소상쇄사업의 비용

본 연구에서 산림탄소상쇄사업의 비용은 일반적으로 산림경영을 실행하여 입업생산에 투입되는 비용은 제외하고 벌기령 연장을 통한 산림탄소배출상쇄권을 생산하기 위해 추가로 발생하는 비용으로 정의한다. 이 비용은 크게 행정비용과 기회비용 두 가지로 나누어서 생각한다. 행정비용은 다시 컨설팅비용, 검증비용으로 나눈다(Milne 1999, Cacho, Marshall, Graham, Milne and Mary 2005, 한기주 2007, 조장환 2011, 박진택 외 2016). 컨설팅비용은 사업의 타당성 평가 및 사업계획서 작성을 위해 수반되는 비용으로 정의한다. 사업계획서 작성비용 외에도 모니터링 보고서 작성비용이 포함된다. 검증비용은 타당성 평가를 통해 기획된 사업계획서 등에 대해 제3의 검증기관에서 검증을 시행하는데 5년마다 투입되는 비용이다. 기회비용은 산림탄소사업을 시행함으로써 벌채하지 못하는 목재생산량으로 정의한다(Nelson

et al. 1988, 김명은 2013, Michel et al. 2014, Lu and Liu 2015). 베이스라인에서 별채되는 목재 수익을 사업계획서의 단순비용분석 산정방식대로 계산하며 계산식은 다음과 같고 산출 근거는 <표 3-4>와 같다.

행정비용 = 사업계획서작성비용 + 모니터링보고서작성비용 + 검증보고서작성비용

표 3-4. 산림탄소상쇄사업 행정비용 산출프로그램 산출 근거

현장조사(월)	MD/ha	
	사전지조사	표준지조사
12, 1, 2	0.02	0.05
3, 4	0.019	0.0475
5, 6, 7, 8, 9	0.021	0.0525
10, 11	0.019	0.0475

보고서 유형	기본MD(고정)	기술자 구분	
		기술자 구분	기술자 노임단가(원)
사업계획서	9.2	고급기술자	218,132
모니터링보고서	9.5	중급기술자	184,257
검증보고서	5	초급기술자	150,083

자료: 온실가스 배출권거래제 운영을 위한 검증지침 별표 7

행정지원비용 산정 시트²⁾를 활용할 때, 사업 기본정보 입력창에 현장 조사 시점은 1월로 적용하였으며 사업유형은 산림경영사업으로 적용했다.

$$\text{기획비용} = \sum_{t=1}^{\Omega} S_p \cdot \{P - (\text{Labor Costs}_h + \text{Yarding Cost}_h)\} (1 + \delta)^{-t}$$

S_p : 생산재적 ($S_p = S_h \cdot U$)

S_h : 별채된 임목축적

P : 산지가격(원재료급 침 · 활엽수가중평균가격)

Labor Costs_h : 별채인건비(전국 임목별채업 실태조사 보고서의 평균가격)

Yarding Costs_h : 집재비(전국 임목별채업 실태조사 보고서의 평균가격)

Ω : 사업 기간

2) 행정비용 지원 산정 Tool_ver.1.0 xls(2018. 01. 12). 산림탄소등록부 공지.

t : 사업 기간 중 임의 시점

δ : 임금 상승률과 물가 상승률 5년 평균 값

사업계획서의 베이스라인 별채량에 따른 단순비용분석 재구성

사업별 비용을 구할 때 임령에 따라 사업 기간 시나리오까지의 기간을 사업 기간으로 설정한다. 비용 그래프를 도출할 때 y축에 해당하는 이산화탄소 단위당 생산비용(원/ tCO_2)은 앞서 제시한 행정비용과 기회비용을 모두 합산하고 사업 기간 동안의 총 흡수량으로 나눠 이산화탄소 단위당 생산비용(원/ tCO_2)을 도출하였다. 정의된 기회비용에 대해 은행이자율을 고려하여 사업 기간만큼 계상한다. 은행이자율은 보수적으로 3%로 설정했다.

4. 산림탄소상쇄사업의 산림탄소 흡수량

산림탄소상쇄사업의 산림탄소 흡수량은 국립산림과학원에서 제시한 『사회공헌형 산림탄소상쇄 사업설계 가이드라인』의 산림경영 사업 이산화탄소 흡수량 산정을 참고하였다. 이산화탄소 순흡수량을 산정하기 위해서 우선 사업대상지를 구획하고, 사업에 따라 이산화탄소 흡수가 늘어나는 탄소저장고 혹은 배출원을 선택한다. 다음으로 탄소저장고 별로 베이스라인 흡수량을 산정하고 사업에 따른 이산화탄소 총흡수량을 산정한다. 사업을 시행하는 과정에서 사업 활동에 따른 이차적 배출량과 누출량을 산정하고 총흡수량에서 베이스라인 흡수량과 이차적 배출량 및 누출량을 제외하여 이산화탄소 흡수량을 산정한다(국립산림과학원 2013).

산림경영 사업에는 사업 기간 동안의 줄기, 가지, 잎 등의 지상부 산림바이오매스와 뿌리 등의 지하부 산림바이오매스 등 산림바이오매스의 탄소흡수량을 구하고, 여기에서 사업 활동에 따른 배출량 및 누출량을 제외하여 이산화탄소 순흡수량을 산정한다. 고사 유기물 및 산림토양의 탄소저장 변화량은 선택사항으로 사업자가 원하는 경우 포함할 수 있다. 이산화탄소 순흡수량은 다음 수식을 이용하여 산정할 수 있다.

$$C_t = \left(\sum_i (B_i + S_i - R_i) \times 44/12 \right) - E - L$$

C_t : t 기간 동안의 이산화탄소 흡수량(tCO_2)

B_i : t기간 동안 구획 i의 산림바이오매스의 탄소흡수량(tC)

S_t : t기간 동안 구획 i의 고사유기물&산림토양의 탄소흡수량(tC)

R_t : t기간 동안의 구획 I의 베이스라인 흡수량(tC)

E : t기간 동안의 사업활동에 따른 배출량(tCO_2)

L: t기간 동안의 누출량(tCO_2)

산림바이오매스 탄소흡수량 선정은 다음 수식을 통해 산정할 수 있다.

$$B_i = (BG_i - BL_i) \times BEF \times (1 + RR) \times WD \times CF$$

B_i : 산림바이오매스 산소흡수량(tCO_2)

BG_i : t기간 후 구획 i의 임목축적(m^3)

BL_i : t기간 전 구획 I의 임목축적(m^3)

BEF : 지상부 바이오매스 확장계수

RR : 뿌리 함량비

WD : 목재기본밀도(tdm/m^3)

CF : 탄소함량비(tC/tdm)

베이스라인 시나리오에 따른 산림바이오매스 탄소흡수량 변화를 예측하고 사업 기간 동안의 평균 탄소저장량을 산정하여 베이스라인 흡수량으로 적용한다. 탄소저장고별 흡수량에 대한 성장 자료나 성장 모델이 구축되어있지 않은 경우에는 주요수종별 기준 벌기령 및 평균 탄소저장량을 참고하여 베이스라인 흡수량을 산정할 수 있다.

사업 활동에 따른 배출은 사업을 추진하는 과정에서 차량이나 기계장비 등을 이용하면서 배출되는 것을 일컫는다. 누출은 사업 추진으로 인해 사업 경계 밖의 배출원에 영향을 미쳐서 배출량의 증가를 가져오는 것이다. 사회 공헌형 산림탄소운영표준에는 사업 활동에 따른 배출량과 누출량을 고려하지 않은 연간 이산화탄소 순흡수량이 $100tCO_2$ 미만인 소규모 사업의 경우, 순흡수량의 5%와 2%를 각각 적용하도록 하고 있다. 연간 이산화탄소 순흡수량이 $100tCO_2$ 이상인 경우는 실제 사업 활동에 따른 배출량과 누출량을 조사하여 산정해야 한다. 이상의 과정을 거쳐서 다음 <표 3-5>에 제시된 산정식을 통해 사업계획서에 산정된 이산화탄소 흡수량을 사용하였다. 고사유기물 및 산림토양의 탄소저장 변화량은 산림탄소상쇄사업에 의해 조성된 산림은 지속 가능한 산림자원 관리를 통해 안정된 상태를 유지한다는 전제 하에서 고사유기물 및 토양의 탄소축적 변화량을 '0' 으로 가정한다.

표 3-5. 이산화탄소 흡수량 산정

a	산림바이오매스 탄소흡수량
b	고사유기물 및 산림토양의 탄소저장량(선택)
c	총 탄소흡수량($c=a+b$)
d	베이스라인 흡수량
e	사업활동에 따른 배출량
f	누출량
	이산화탄소 순흡수량 = $(c-d)*3.664-e-f$

자료: 김영환 외(2013) 사회공헌형 산림탄소상쇄 사업설계 가이드라인

비용 그래프를 도출할 때 x축에 해당하는 이산화탄소흡수량은 각 사업의 임령에서부터 사업 기간 시나리오 60년, 100년까지의 기간을 사업 기간으로 설정하고 사업 기간 동안의 총 흡수량을 사업 기간으로 나눠 단위 연간 이산화탄소 흡수량(tCO_2/y)을 도출하였다.

5. 산림탄소상쇄사업 비용에 영향을 미치는 요인

산림탄소배출상쇄권을 생산하기 위해 투자되는 비용은 어떤 요인들에 의해 영향을 받는지 분석하기 위해 선행연구를 고찰하고 비용 최소화에 미칠 수 있는 다양한 요인들을 채택하여 가설을 검증한다. 산림탄소상쇄사업의 비용 요인으로서 수종, 임령, 지위지수, 사업 규모를 상징하고 이 네 가지에 대하여 각각 가설을 설정하였다.

침엽수는 활엽수림보다 산림탄소흡수량이 상대적으로 적기 때문에 톤당 생산비용이 높아질 것이다. 국립산림과학원에서 2013년에 발표한 『주요산림수종의 표준 탄소흡수량』에도 임령 10년부터 60년까지 평균 이산화탄소 흡수량은 침엽수보다 활엽수가 1.53배 더 높게 나타났다. 오창영 외(2014)은 같은 면적에서 성장량이 동일한 경우 참나무류의 탄소흡수량이 다른 수종보다 더 높은 것으로 나타났다. 김소원 외(2014)은 임목성장 모니터링 지역에서 임분성장변화 및 탄소 저장 흡수량 평가를 통해 각 고정조사구의 단위 면적(ha)당 탄소저장량을 계산한 결과 활엽수인 신갈나무가 가장 많고 상대적으로 침엽수인 소나무와 낙엽송이 가장 적다고 보고하였다.

임령이 낮을수록 톤당 생산비용이 낮아질 것이다. 국립산림과학원에서 제시한 임분수확모델을 참고하면, 임령이 증가할수록 성장량 증가 속도가 감소하기 때문에 비용이 더 많이 들 것이다. 임령이 높을수록 벌기령 연장이 가능한 사업 기간이 더 감소하기 때문에 연간 생산량이 더 감소한다. 박진택 외(2016)은 사업 기간과 크레딧 발행비용은 부(-)의 영향을 미친다고 하였는데 이는 역으로 임령과 크레딧 톤당 생산비용이 정(+)의 영향을 미친다고 할 수 있다. 국립산림과학원에서 2013년에 발표한 『주요산림수종의 표준 탄소흡수량』에서 언급하고 있는 주요 수종 8개에 대해 임령 10년부터 60년까지 흡수량을 살펴보면 임령이 10년부터 20년까지 모든 수종의 연간 이산화탄소 흡수량은 증가하는데 소나무만 30년까지 증가하고 반면 대부분의 수종은 임령 20년을 기준으로 연간 흡수량이 감소하기 시작한다. 따라서 임령이 높아질수록 톤당 생산비용은 더 비싸질 것이므로 임령과 톤당 생산비용이 정(+)의 관계를 보일 것이라고 가설을 설정하였다.

지위지수가 높을수록 톤당 생산비용이 낮아질 것이다. 국립산림과학원에서 발표한 현실림임분수확표³⁾를 따르면 지위지수가 높을수록 연평균생장량이 높아진다. 오창영 외(2014)은 일반적으로 생장이 빠른 수종의 탄소흡수 능력이 우수하다는 것을 밝혀냈기 때문에 지위지수가 높아지면 흡수량이 많아지므로 톤당 생산비용이 적게 들 것이라고 가정했다.

사업 규모가 커질수록 톤당 생산비용이 낮아질 것이다. 박진택 외(2016)은 사업면적과 크레딧 발행비용이 부(-)의 영향을 미친다고 하였다. 1ha 미만의 소규모 사업의 비용이 113,919원/ tCO_2 , 2ha 이상의 사업의 비용이 99,962원/ tCO_2 으로 규모가 작은 사업은 규모가 비교적 큰 사업보다 비용이 높은 것으로 나타났다. 노동집약적 산업은 규모의 경제가 발생하기 때문에, 규모가 커질수록 연간 이산화탄소 흡수량이 커지기 때문에 톤당 비용이 낮아질 것이라고 가정했다. 이상 산림탄소상쇄사업 비용에 영향을 미치는 요인에 대한 변수설명과 선행연구를 표로 정리하면 다음 <표 3-6>, <표 3-7>과 같다.

표 3-6. 다중선형 회귀분석 변수 설명

변수		변수 설명		기대 방향
종속 변수	톤당 생산비용 (원/ tCO_2)	사업의 전체 비용(원)/사업의 전체 흡수량(tCO_2)		
설명 변수	흡수량에 영향을 주는 요인	수종	활엽수의 비율로 1에 가까울수록 활엽수림에 가깝고 0에 가까울수록 침엽수림에 가까움	-
		임령	수종별 현재 임령의 평균을 나타냄(년)	+
		지위지수	지위지수의 평균	-
	비용에 영향을 주는 요인	사업 규모	사업대상지의 면적(ha)	-

3) 국립산림과학원 현실림 임분수확표(2016)는 강원지방소나무, 중부지방소나무, 곰솔(해송), 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송, 삼나무, 편백나무, 각종 참나무 등 14개의 수종에 대한 지위지수분류표 및 임분수확표를 제공한다.

표 3-7. 다중선형 회귀분석의 독립변수 유형 및 선행연구

변수		변수 유형	관련 선행연구	
종속 변수	톤당 생산비용(원/tCO ₂)	비율척도	Milne(1999), Cacho, Oscar, Marshall, Graham, Milne and Mary(2005), 한기주(2007), 조장환(2011), 박진택 외(2016), William E. Phillips et al.(1988), 김명은(2013), Michel et al.(2014), Heli Lu ; Guifang Liu(2015)	
독립 변수	흡수량에 영향을 주는 요인	수종	비율척도	한기주 외(2009), 김소원 외(2014), 김영환(2016), 박진택 외(2016)
		입령	비율척도	김영환(2016)
		지위지수	비율척도	김영환(2016)
	비용에 영향을 주는 요인	사업 규모	비율척도	박진택 외(2016)

6. 산림탄소상쇄사업 참여에 영향을 미치는 요인

산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려는 산주의 의사는 어떤 요인들에 의해 달라지는지 분석하기 위해 선행연구의 고찰을 통해 참여 의사에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 채택하고 가설을 검증함으로써 산주의 참여 활성화를 통한 공급량 확보 방안을 모색한다.

산림탄소배출상쇄권 제시금액이 높은 수준에서 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다. Lindhjem and Mitani(2012)는 산주가 소유산림 1ha를 사업에 등록하기 위한 WTA를 비시장적 구성 요소의 변화에 대한 보상 잉여금과 기회비용의 합으로 정의하고 있다. 수용의사금액을 결정하는 요소가 기회비용을 기반으로 변동될 수 있다는 뜻이다. 기회비용과 보상잉여금은 생산량 결정 기준에 영향을 줄 수 있다. 생산자이론에 따르면 여러 요인에 의해서 개인 산주는 목재와 산림탄소배출상쇄권에 대한 상이한 상대가격을 가지게 된다. Miller et al.(2012)의 연구에서도 생산자 이론에 근거하여 탄소배출권 금액이 높을수록 참여 의사가 높게 나타난다는 유의미한 결과를 도출했다. 따라서 산주들이 생각하는 목재생산에 대한 기회비용과 기타 공편익에 대한 보상심리가 반영된 WTA를 독립변수로 선정

하여 사업 참여 판단 기준에 어떤 영향을 주는지 검증하고자 변수로 선정하였다.

산주 특성에 대해 여덟 가지 변수를 설정하고 여덟 가지 가설을 세웠다. 첫째, 사업에 대한 노력이 많을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다. 노력은 산림탄소협회 가입 여부, 산림탄소배출상쇄권 및 배출권 거래 현황과 가격 현황 인지 여부, 자발적 사업 신청 여부, 과거 산림탄소상쇄사업 설명회 참석 여부의 총 6점을 만점으로 합산하였다. Miller et al.(2012)는 교육 또는 산림지원 프로그램에 과거에 참여한 경험이 있는 산주들은 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여할 확률이 높게 나타났으며, 또한 탄소배출권에 대한 산주의 이해 정도 수준이 높을수록 사업에 참여하려는 의사를 표할 확률이 높게 나타났다. 또한 Lindhjem and Mitani(2012)의 연구에서는 노르웨이 산주 협회 가입이 참여 의사에 긍정적인 영향을 미친다고 나타났다. 따라서 본 연구에서는 과거 교육 참여 여부와 사업 인지 수준 외에도 산림탄소상쇄사업에 관한 교육이나 산림지원 프로그램에 접할 수 있는 수단으로 협회 소속 여부도 점수에 합산하였다. 둘째, 산림의 시장적 가치보다 공익적 가치를 선호하는 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다. Miller et al.(2012)는 비시장적 산림의 가치에 대해서 중요성에 대해서 종합 점수를 매겼는데, 산림의 공익적 기능으로써 토양과 물, 야생동물에 대한 가치를 높게 평가하는 산주일수록 산림탄소상쇄사업 참여에 긍정적인 것을 밝혀냈다. 우리나라 산림산업 및 산림복지를 포괄하는 산림의 총 경제적 가치는 산림의 시장가치, 비시장가치, 제공서비스, 조절서비스, 문화서비스로 세분화할 수 있다⁴⁾(산림청 2017b). 전통적인 산림 산업의 시장적 가치는 목재, 임산물 등의 가치를 나타내고 공익적 가치는 경관기능, 생물다양성보전기능, 탄소흡수기능 등의 가치를 나타낸다. 김대수 외(2016)는 산림탄소상쇄배출권 시장가격에 공편익을 반영할 경우 공익적 가치에 더 높은 선호를 가지고 있는 산주가 산림탄소상쇄배출권에 대해 더 높은 가격을 기대할 것이라고 하였다. 따라서 산주가 결합생산물의

4) 산림청(2017b). '산림산업' 및 '산림복지'를 포괄하는 '산림사업의 총경제적 편익' 분석

선택을 할 때 한계변환율을 고려해 가격이 상대적으로 높은 산림탄소상쇄 사업에 더 참여하려고 할 것이다. 한편, 산주의 기후변화 관련 지식수준과 환경인식이 높을수록 투자기회에 대한 이해와 적극성이 높은 것이므로 산림탄소상쇄사업 투자확률이 높을 것이다(Håbesland et al. 2016; Miller et al. 2012, 신승욱 2017). 환경 인식이 높을수록 공익적 가치 중 하나인 산림탄소배출상쇄권에 대한 가치를 더 높게 생각할 것이기 때문에 목재생산보다 산림탄소상쇄사업에 더 참여하려고 할 것이다. 셋째, 산주가 소유하고 있는 산지의 면적이 넓을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다. 생산요소와 산출량의 관계를 나타내는 생산함수에 따르면 어떤 재화를 생산하기 위해 투입되는 생산요소인 인부의 수가 많아질수록 노동한 단위가 추가로 투입되었을 때 발생하는 한계생산이 감소한다. Miller et al.(2012)는 사업 참여 여부를 확신하는 산주의 토지점유율 및 총 소유 면적이 산림탄소사업 참여에 영향을 미치는 중요한 결정요인이라고 밝혀냈다. 넷째, 부재 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다. 부재 산주는 산림 소유 동기 및 경영목적이 분묘, 종중 산, 부동산 등이 많아 산림 투자에 대한 의지가 매우 부족하다고 밝혔다. 부재 산주들의 산림 지식이나 경영 의지는 소재 산주보다 매우 빈약하고 부재 산주의 증가는 산림 소유 규모의 영세화와 경영 방치를 초래한다(신승욱 2017; 서병수 외 1999, Boyd 1984; Gregory et al. 2003; Romm, Tuazon and Washburn 1987). Kendra and Hull (2005); Kilgore et al. (2008)에 따르면 거주 상태와 사업 참여 의사의 상관관계는 명확하게 드러나지 않지만 Miller et al.(2012)의 연구에서는 산주가 소유한 대상지에서 거주하는 부재 산주일수록 산림탄소배출상쇄권을 생산하고 판매하는 데 관심이 많다는 결과를 도출하였다. 산림탄소상쇄사업의 별기령 연장 사업은 산림을 적극적으로 이용하는 것이 아니라 보전적으로 관리하는 사업이기 때문에 부재 산주는 산림탄소상쇄사업에 대한 참여확률이 더 높을 것이라는 가설을 설정했다. 다섯째부터 여덟째까지는 표본으로 도출한 결과를 모든 산림탄소상쇄사업 참여 산주 혹은 앞으로 참여할 산주들에게 일반화하기 위해 인구통계학적 변수에 따라 참여 의사가 달라질 것이라는 가설을 세웠다. 선행 연구에 따르면 대부분의 인구

통계학적 변수 중 성별을 제외하고는 유의미하지 않은 것으로 드러났다. 연령이 높을수록, 교육 수준이 높을수록 수용의사금액을 낮아질 것이고 가구 소득이 높을수록, 성별이 남자일수록 수용의사금액은 높아질 것이라고 가설을 세웠다(Lindhjem and Mitani 2012, Miller. et al. 2012, Bush et al. 2013, 신승욱 2017, Alhassan et al. 2019).

자원 특성에 대해 세 가지 변수를 설정하고 세 가지 가설을 세웠다. 첫째, 활엽수종이 우점하고 있는 사업대상지를 가진 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여할 것이다. 한기주와 윤여창(2009)에 따르면 참나무 숲은 소나무 숲보다 탄소흡수량을 효율적으로 흡수할 수 있기 때문에 참나무 숲을 소유한 산주에게 더 높은 탄소 인센티브를 제공해야 한다고 하였다. 또한 최근 산림청의 주요 수종 표준 탄소 흡수량에 따르면 주요 8개 수종에 대한 탄소흡수량을 비교해 봤을 때, 상수리나무가 $11.72tCO_2$, 신갈나무가 $9.00tCO_2$ 으로 가장 흡수량이 높았다. 산주의 입장에서 더 흡수 효율이 높은 산을 가지고 있을수록 더 많은 수익을 기대할 수 있고 참여 가능성이 높아질 수 있기 때문에 이와 같은 가설을 설정하였다. 둘째, 생태자연도 등급이 높은 사업대상지의 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여할 것이다. 자연환경보전법에 따르면 생태자연도는 주요 서식지 여부뿐만 아니라 생태계 및 경관이 우수한 지역에 대해 등급을 책정한 것이다. 주요 서식지, 생태계 및 우수한 경관이 존재하는 곳이기 때문에 법적으로 보전을 권고하고 있다. 생태자연도 1등급 권역에 해당하는 지역은 자연환경의 보전 및 복원을 원칙으로 한다.⁵⁾ 해당 지역은 임목을 벌채하여 목재를 생산할 수 없고 다른 용도로 개발할 수도 없다. 따라서 임지를 보전하면서 수입을 올릴 수 있는 산림탄소상쇄사업에 더 적극적으로 참여하려고 할 것이다. 셋째, 임령이 높은 사업대상지를 가진 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 하지 않을 것이다. 이상태 외(2019)의 연구에 따르면 임목의 연령이 높아지면 탄소 흡수량도 줄어들기 때문에 얻을 수 있는 산림탄소배출상쇄권의 양도 줄어들게 될 것이기 때문이다. 반면에 임령에 따른 수종별 임목의 가치는 지속적으로 상승한다(원현규 2008). 따라서 높은 임령의 대상

5) 전국 생태·자연도 고시(환경부고시 제2007-68호, 2007. 4. 11.)

지를 가지고 있는 산주는 산림탄소배출상쇄권의 가치보다 목재생산의 가치를 더 높게 판단하여 사업을 하지 않으려고 할 수 있다.

위치 특성에 대해서 한 가지 변수를 설정하고 한 가지 가설을 세웠다. 도로에 접해 있는 사업대상지를 가진 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 하지 않을 것이다. 산림탄소상쇄사업의 대상지가 도로에 접해있지 않은 대상지일수록 기회비용인 목재생산의 생산비용으로써 임대비용 및 임대 사용자비용이 높게 투입될 것이다(김종윤 1998). 따라서 새로이 임대 개발에 비용을 투입해서 목재생산을 하지 않고 산림탄소상쇄사업에 참여하려고 할 것이다. 도로조건은 토지의 공시지가 또는 실거래가와 유의미한 양의 관계를 가지고 있다(정형식 2017, 오세준 2015, 황동열 외 2013, 김선주 외 2012). Snyder et al.(2007)는 도로 접근성을 실거래가 변동의 유의미한 결정요인으로 보았으며, Wang and Guldman(1996)은 토지이용 집중도가 도로망의 연결 변화에 따라 달라짐을 입증하였다. 도로의 존재로 인해 지가가 상승한다면 토지 이용도는 높아질 것이고 토지에 대한 기회비용이 높아져서 산주는 사업에 지속적으로 참여하지 않을 것이다. 설정한 가설과 변수를 요약하여 나타내면 다음 <표 3-8>과 같고, 변수와 변수에 대한 상세 설명은 <표 3-9>에 제시하였다.

표 3-8. 연구 가설과 변수

연구 문제. 자발적 탄소시장의 공급 저하 문제로 시장 쇠퇴가 우려됨		
연구 질문 1. “산림탄소배출상쇄권의 단위당 생산비용(원/tCO ₂)을 낮추는 요인은 무엇일까?”		
대 가설	이산화탄소 흡수량에 영향을 주는 다양한 인자들이 산림탄소상쇄사업의 단위당 생산비용(원/tCO ₂)에도 영향을 줄 것이다.	
가설 1-1	수종	활엽수일 때 침엽수보다 단위당 생산비용이 낮아질 것이다.
가설 1-2	임령	임령이 낮을수록 비용이 단위당 생산비용이 낮아질 것이다.
가설 1-3	지위지수	지위지수가 높을수록 비용이 단위당 생산비용이 낮아질 것이다.
가설 1-4	사업 규모	사업규모가 클수록 단위당 생산비용이 낮아진다.
연구 질문 2. “수용의사금액 수준에서 사업에 지속적으로 참여하려는 사람들은 어떤 특성을 가지고 있을까?”		
대 가설	산주의 수용의사금액은 산주의 특성, 자원 특성, 위치 특성이 등 다양한 요소가 결합되어 산림탄소상쇄사업 참여 의사에 영향을 줄 것이다.	
가설 2-1	수용의사금액	수용의사금액이 높은 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-2	사업에 대한 노력	사업에 대한 노력이 많을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-3	산림의 공익적 가치 선호	산림의 시장적 가치보다 산림의 공익적 가치를 선호하는 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-4	소유 임지 면적	산주가 소유하고 있는 산지의 면적이 넓을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-5	부채 산주 여부	부채 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-6	연령	산주의 연령이 낮을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-7	성별	산주가 남성일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-8	교육 수준	산주의 교육 수준이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-9	가구 소득	산주의 가구소득이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-10	수종	활엽수의 경우 산림탄소 흡수량이 더 높으므로 사업에 지속적으로 참여하려고 할 것이다.
가설 2-11	생태자연도	생태자연도 등급이 높은 사업대상지의 산주는 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여할 것이다.
가설 2-12	임령	임령이 높은 사업대상지를 가진 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 하지 않을 것이다.
가설 2-13	도로 접근성	도로에 접해 있는 사업대상지를 가진 산주일수록 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하려고 하지 않을 것이다.

표 3-9. 로지스틱 회귀분석 변수 설명

변수		변수 설명		기대 방향		
종속 변수	참여 의사		주어진 수용의사금액에 참여하면 1, 참여하지 않으면 0			
설명 변수	사업 특성	수용의사금액		+		
	산주 특성	적극성	사업에 대한 노력	산림탄소협회 가입 여부(1점) + 인지 수준 (산림탄소배출상쇄권 거래현황, 산림탄소배출상쇄권 가격, 배출권 가격 현황 각 1점 씩) + 자발적 참여 여부 (사업 참여에 산림청 직원이나 지인의 간섭이 없었으면 1점) + 설명회 참석 여부(정부에서 주최한 산림탄소상쇄사업 설명회에 참석해본 경험이 있으면 1점) 총 6점	+	
				인식	공익적 가치 선호	산림의 경제적 가치가 중요하면 0, 산림의 공익적 가치를 중요하면 1
		배경	부채 산주 여부	부채 산주일 경우 1, 주채 산주일 경우 0	+	
				소유 산림 면적	산림탄소상쇄사업 대상지 외에도 산주가 소유하고 있는 산림 면적의 합(ha)	+
			인구 통계학적 특성	연령	응답자의 연령(세)	-
				성별	남자일 경우 1, 여자일 경우 0	+
				가구 소득	가구 전체 소득 서열 척도	+
	교육 수준	초졸, 중졸, 고졸, 대졸, 대졸 이상	+			
	사업대상지 특성	자원 특성	수종	사업 대상지의 활엽수 비율($0 \leq r \leq 1$)	+	
			생태자연도	보호해야 하는 지역과 개발해도 되는 지역을 구분: 1등급(멸종 위기 동식물 서식지와 생태계 우수 및 경관이 우수한 지역)은 1, 2등급(장차 보전의 가치가 있는 지역)이나 3등급(개발관리 및 이용 허용지역)은 0	+	
			입령	대상지의 구획 별 평균 입령	-	
위치 특성		도로 접근성	도리가 접하고 있으면 1, 접하지 않고 있으면 0	-		

독립변수의 유형과 기대 방향을 참고한 선행연구를 정리하면 다음 <표 3-9>, <표 3-10>과 같다.

표 3-10. 독립변수의 유형 및 선행연구

범주	변수	변수 유형	관련 선행연구
수용의사금액	수용의사금액	비율척도	Miller et al.(2012), Alhassan et al., (2019)
산주특성	사업에 대한 노력	등간척도	Miller et al. (2012)
	산림의 공익적 가치 선호	명목척도 (더미변수)	Miller et al. (2012), Lindhjem and Mitani(2012)
	부채 산주 여부	명목척도 (더미변수)	서병수 외(1999), Boyd (1984); Conway 외(2003); Romm, Tuazon and Washburn(1987), 신승욱(2017)
	소유 임지면적	비율척도	Miller et al.(2012)
	연령	비율척도	Lindhjem and Mitani(2012)
	성별	명목척도 (더미변수)	Miller et al.(2012), Alhassan et al.(2019)
	가구소득	서열척도	Lindhjem and Mitani(2012), Bush et al.(2013), Alhassan et al.(2019)
	교육 수준	서열척도	Miller et al.(2012), Lindhjem and Mitani(2012), Bush et al.(2013), Alhassan et al.(2019)
자원특성	수종	명목척도 (더미변수)	한기주와 윤여창(2009)
	생태자연도	명목척도 (더미변수)	Lindhjem and Mitani(2012)
	임령	비율척도	원현규(2008), 이상태 외(2019)
위치특성	도로 접근성	명목척도 (더미변수)	Wang and Guldman(1996), Stephanie Snyder et al.(2007), 정형식 (2017), 양영준(2015), 황동열 외 (2013), 김선주 외(2012)

연구 방법을 정리하면 <그림 3-2>과 같다. 첫 번째 질문에 대한 대답은 다중선형 회귀분석을 통해 해결할 수 있고, 두 번째 질문에 대한 대답은 로지스틱 회귀분석을 통해 도출할 수 있다.

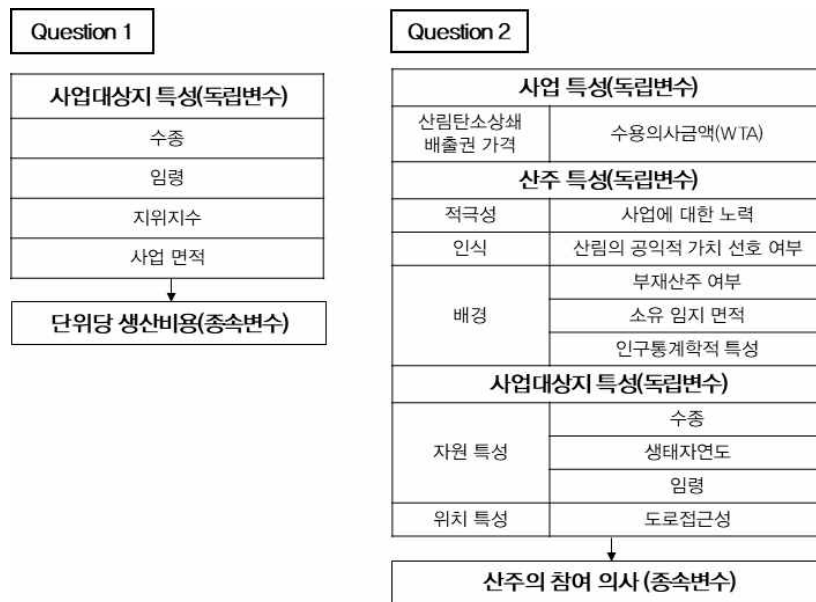


그림 3-2. 연구 모형 상세

Question 1.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$$

종속변수: 평균비용

β^0 : 상수, β : 회귀계수, X: 수종, 지위지수, 임령, 사업 면적

Question 2.

$$\text{Log odds} = \frac{\text{Log}p}{1-p} = \beta^0 X + \beta^1 X + \dots + \beta^k X$$

종속변수: 사업 참여 여부, P: 산주가 산림탄소 크레딧 가격을 수용할 확률
 β^0 : 상수, β : 회귀계수의 벡터, X: 수용의사금액, 산주특성, 자원특성, 위치특성

두 번째 질문에 대한 연구 모형을 간략하게 모식도로 나타내면 <그림3-3>과 같다. 산림탄소상쇄사업 참여 의사에 수용의사금액, 산주의 특성, 자원 특성, 위치 특성이 어떤 영향을 미치는지 분석할 것이다.

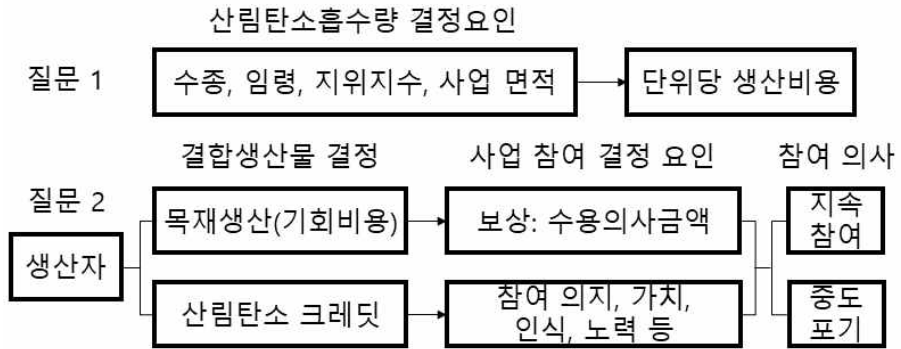


그림 3-3. 연구 모형 간략 모식도

제 3 절 설문조사 설계

1. 설문지 구성

설문지는 산주의 개인 특성 및 산림 자원 특성, 산림탄소상쇄사업의 가치에 대한 인식, 산림탄소상쇄사업의 비용, 수용의사금액 다섯 가지의 부분으로 구성된다. 산주의 특성 및 자원 특성은 산주의 부재 여부, 산주가 가진 산림 면적, 인구통계학적 특성, 산림탄소상쇄사업에 대한 경험과 인지 수준 등에 관련된 질문으로 구성되었다. 산림탄소상쇄사업의 가치에 대한 인식은 산림탄소상쇄사업으로 발생할 수 있는 금전적 가치와 비금전적 가치에 대한 선호도, 산림의 기후변화 조절 기능의 중요성에 대한 인식으로 구성되었다. 산림탄소상쇄사업의 비용은 벌기령 연장 사업을 시행하면서 국가에서 보조해 주는 금액 이외에 국가에서 보조해 주는 금액 이외에 추가로 투입되었던 비용에 대하여 일정한 틀을 제시하고 1년 기준 비용이 얼마나 투입되었는지 조사했다. 수용의사금액 부분은 수용의사금액과 산림탄소상쇄사업의 지속적 참여 의사에 대한 질문으로 구성되었다. 응답자의 보다 정확한 의사가 반영될 수 있게끔 양분선택형으로 다섯 번을 질문하였다. 정박효과(anchoring effect)⁶⁾를 방지하기 위해서 초기제시금액은 기회비용, 사업비용, 보험비용, 행정비용 등을 고려한 평균 비용과, 선행 연구의 제시 금액, KOC 금액을 고려하여 제시하였다. WTA에 대한 질문은 초기 제시금액을 수용했을 때와 수용하지 않았을 때, 초기 금액 대비 50%, 150% 그리고 그 금액에 대해 다시 수용했을 때와 수용하지 않았을 때의 금액 대비 80%와 150%, 같은 비율로 질문을 세 번 더하여 총 다섯 번의 질문을 하였다. 질문 금액 대비 변동되는 상승률 혹은 하락률은 송혜인 외(2014), Chung et al.(2016)을 참고하였고 WTA 질문과정을 도식화하여 나타내면 다음 <그림 3-4>와 같다. 설문조사는 연령이 많은 산주를 고려하여 설문지의 내용에 대해 이해가

6) 정박효과: 심리학적으로 응답자가 처음 제시된 금액에 자신의 지불의사금액을 근접(정박)시키려는 효과로 처음 제시된 금액이 응답자의 최대 지불의사금액에 유의한 영향을 줌으로써 출발점 편의를 발생시킨다(신영철 1998).

가지 않는 부분은 전화상으로 직접 설명하여 응답자를 충분히 이해시켰고 우편조사를 통해 이루어진 설문조사인 경우, 응답자가 이해하지 못한 부분에 대하여 질문을 하게 하거나 회수한 설문지 내용에 대해 전화상으로 충분한 설명을 통해 다시 조사하였다.

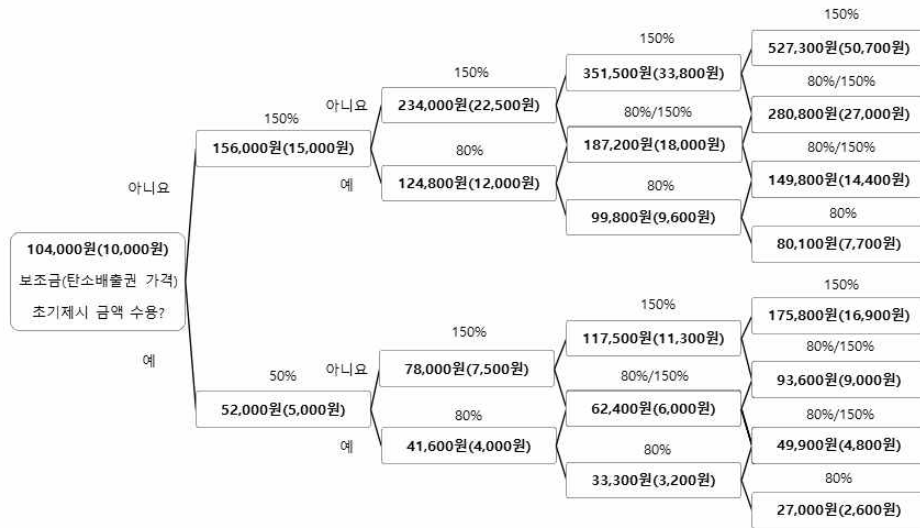


그림 3-4. 가상가치 평가 질문 과정 예시

2. 자료 수집

산림탄소협회 가입 여부, 인지 수준, 자발적 참여 여부, 설명회 참여 여부, 추가적 비용, 산림청 신뢰도, 공익적 가치 선호, 산림탄소흡수 중요도, 독립가협회 소속 여부, 인구통계학적 특성을 포함하고 있는 산주 특성은 산주로 부터 설문지를 통해 데이터를 수집했다. 2019년 11월 23일, 12월 6일 두 차례에 걸쳐 3명의 산주에게 예비 설문지를 배부해, 부연 설명 여부에 따라 어느 정도 수준으로 답변하는지 관찰하고 설문지를 수정하였다. 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주들을 대상으로 개인정보 이용 및 설문 참여를 동의하는 산주를 대상으로 설문 대상으로 하고 개인정보 이용 및 설문 참여를 거부한 산주의 데이터는 모두 폐기하였다. 개인정보는 연령, 성별, 개

인 소유 임지 면적, 가구 소득, 교육 수준, 연락처, 집 주소이다. 2020년 3월 6일부터 전화로 서울에 거주하고 있는 산주들을 대상으로 사전조사를 실시했는데, 대부분의 산주들이 코로나 바이러스 19로 인해 대면조사를 원치 않아 실시할 수 없었으며 대면조사를 위한 한 명의 산주를 제외하고 모두 전화 및 우편 혹은 이메일로 설문을 실시했다. 3월 6일부터 여러 차례에 걸쳐 연락이 가능한 산주부터 실시했으며, 등기 우편으로 설문지 및 개인정보 동의서를 발송하였다. 산주가 설문을 잘 이해하지 못하거나 질문이 있을 경우 조사자에게 연락하여 문제를 해결하도록 했으며, 추가적인 정보를 요청하고자 하거나 회신된 설문지에 모호한 답변이 있으면 전화로 추가 조사를 진행하였다. 산림탄소등록부에서 확인된 개인 산주 68명 중 설문에 응하겠다고 답한 개인 산주는 총 40명이었다. 하지만 답변을 이해하지 못하거나 설문조사 진행 중에 일부 응답을 거부한 산주를 제외하면 36부의 설문지를 분석에 활용할 수 있었다.

임종, 생태자연도, 임령, 도로 접근성을 포함하는 사업대상지의 특성은 산림탄소등록부에 등록되어있는 산림탄소상쇄사업 사업계획서를 통해 자료를 수집하였다. 탄소흡수량은 산림탄소등록부에서 제공하는 사업계획서 및 산림탄소흡수량 산정시트를 통해 자료를 수집하였다.

제 4 절 분석 모형

Hanemann(1984)의 효용격차모형을 이용하여 양분선택형 조건부 가치추정(Dichotomous Choice Contingent Valuation Method, DC-CVM) 데이터로부터 각 개인의 Hicks적 잉여를 도출할 수 있다. 생산자에게 가격 A 를 제안할 때, 생산자는 금액 A 를 수용하면서 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여하는 효용가치를 가지려고 하거나 혹은 금액 A 를 수용하지 않고 산림탄소상쇄사업의 참여를 포기하는 두 가지 선택을 할 수 있다. 응답자는 자신의 효용함수를 정확하게 알고 주어진 소득(Y)와 개인의 특성벡터(S)에 근거해 재화의 상태 j 에 대해 갖는 효용은 간접효용함수(v)로 표현한다. 연구자가 직접 관측할 수 없는 부분(ϵ_j)도 존재하므로 응답자의 효용함수를 아래와 같이 표

현한다.

$$U = v(j, Y; S) + \epsilon_j, \quad j = 0, 1$$

이때 임의로 주어진 WTA금액인 A원을 수용하고서라도 기꺼이 사업에 참여할 경우의 간접효용함수는 $v(1, Y+A; S)$ 가 되며, 임의로 주어진 금액 A원을 수용하지 않고 사업 참여를 포기할 경우 간접효용 함수는 $v(0, Y; S)$ 가 된다. 따라서 생산자가 무작위로 설정된 금액 A원에 대하여 기꺼이 지불하고서라도 산림탄소상쇄사업에 지속적으로 참여할 경우 효용 v_1 은 효용 v_0 보다 크거나 같다.

$$v_1(1, Y+A; S) + \epsilon_1 \geq v_0(0, Y; S) + \epsilon_0$$

계량경제학에서는 개인의 응답을 무작위변수의 확률분포로 설명할 수 있다. 이는 주어진 금액 A원에 대해 이를 수용하고라도 산림탄소상쇄사업에 참여하고자 하는 확률(P_1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_1 &= \Pr\{WTA\} \\ &= \Pr\{v_1(1, Y+A; S) + \epsilon_1 \geq v_0(0, Y; S) + \epsilon_0\} \\ \Delta v(A) &\equiv v(1, Y+A; S) - v(0, Y; S) \\ \eta &\equiv \epsilon_0 - \epsilon_1 \end{aligned}$$

사업을 지속적으로 참여할 확률과 포기할 확률이 같을 때의 효용의 차이 (Δv)를 수용의사금액의 로그함수로 간단히 표시하면 $\Delta v = \alpha + \beta \ln A + \gamma \ln Y$ 와 같다. 여기서 설명 변수가 금액 A원을 수용하고라도 사업을 지속할 것인지 포기할 것인지에 대한 범주형 자료로 나타낼 수 있기 때문에 통계 분석 기법은 로짓모델이 이용된다.

η 는 $\epsilon_0 - \epsilon_1$ 이며 효용 격차의 분포를 나타내기 위한 확률변수이다. 각 응답

자는 산림탄소상쇄사업 참여를 통해 얻을 수 있는 간접효용의 증가분 ($\Delta v(A)$)이 양(+)이면 ‘예’ 라고 답하고 제시금액의 수용에 대해 동의하는 것으로 개인의 효용을 증가시킬 것이다. 따라서 응답자가 ‘예’ 라고 응답할 확률은 다음과 같다.

$$P_1 = F_\eta[\Delta v(A)] = \frac{1}{1 + e^{-\Delta v}} = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \ln A + \gamma \ln Y)}}$$

Hanemann(1984)은 효용이론에 접목시켜 산주가 지속적으로 사업에 참여할 확률을 위와 같이 정리하였다. $F_\eta(\cdot)$ 는 확률변수 η 의 누적분포함수이다. 이러한 로짓모델의 추정에는 최우추정(maximum likelihood estimation, MLE) 방법이 이용되며, 동등변이(equivalent variations, EV)에 해당하는 편익은 추정함수의 적분 면적과 같으며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$EV = \int_0^\infty F_\eta(\Delta v) dA = \int_0^\infty F_\eta \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \ln A + \gamma \ln Y)}} dA$$

Hanemann(1984)은 확률 효용이론의 맥락에서 효용극대화 응답으로 해석될 수 있고 개인의 참 수용의사금액(true WTA)의 누적분포 함수가 된다. 결국, WTA모형을 추정한다는 것은 누적분포함수의 모수를 추정한다는 것을 의미한다.

$$\text{Log odds} = \text{Log} p / (1 - p) = \beta^0 X + \beta^1 X + \beta^2 X + \dots + \beta^k X$$

종속변수: 이진 변수(참여 혹은 미참여)

p : 산주가 산림탄소배출상쇄권 가격을 수용할 확률

β^0 : 상수

β : 회귀 계수의 벡터

독립변수(X): 수용의사금액(탄소배출권 가격), 산주 특성(사업에 대한 노력,

산림의 공익적 가치 선호, 가구소득, 교육 수준, 성별, 부재 산주여부, 소유 입지 면적), 자원특성(수종, 생태자연도, 임령), 위치 특성(도로 접근성)

산주는 자신이 응답한 WTA 가격을 기반으로 그 가격에 산림탄소배출상쇄권을 판매할 수 있다면 사업에 더 참여하겠다면 1, 아니면 0으로 선택할 수 있다. 로지스틱 회귀분석은 회귀모델에서 독립변수로 사용된 각 특성 요인과 산림탄소상쇄사업 참여 가능성을 연관시키기 위해 사용되었고 결과의 로그 확률은 예측변수(X)의 선형 조합으로 모델링 된다. 로지스틱 회귀분석은 누적 로지스틱 확률 함수에 기초하고 있으며, 범주형 특성 집합에 따라 특정 사건이 발생할 확률을 추정하는 데 사용된다(Pindyck and Rubinfeld 1981).

$$P\{participation\ is\ yes\} = \frac{1}{1 + e^{-[\beta^0 + \beta' \Xi]}}$$

응답자 i 에게 제시한 초기 제시액을 B_i 라고 한다. 이 초기 제시액에 대해 응답자가 ‘예’로 답했을 경우 더 높게 제시한 금액을 B_i^u , ‘아니요’로 답했을 경우 더 낮게 제시한 금액을 B_i^l 라고 한다. B_i^u 에 대해 응답자가 ‘예’로 답했을 경우 더 높게 제시한 금액은 $B_i^{u'}$, ‘아니요’로 답했을 경우 더 낮게 제시한 금액은 B_i^{ul} 로 표기한다. 즉 같은 대답을 했을 때 ‘표시를 통해 다음 제시금액을 표기하고 다른 대답을 하면 u 나 l 을 붙인다. 예를 들어 $\pi^{yyyy}(B_i, B_i^l)$ 는 질문에 대한 응답을 ‘예’, ‘아니요’, ‘예’, ‘아니요’ 순으로 답했을 경우의 확률을 정의한 것이다. 각 16가지 경우의 확률에 대해서 질문과정을 나타낸 모식도는 다음 <그림 3-5>와 같고 제시액에 대한 수락 여부에 따른 확률은 다음과 같이 정의될 수 있다.

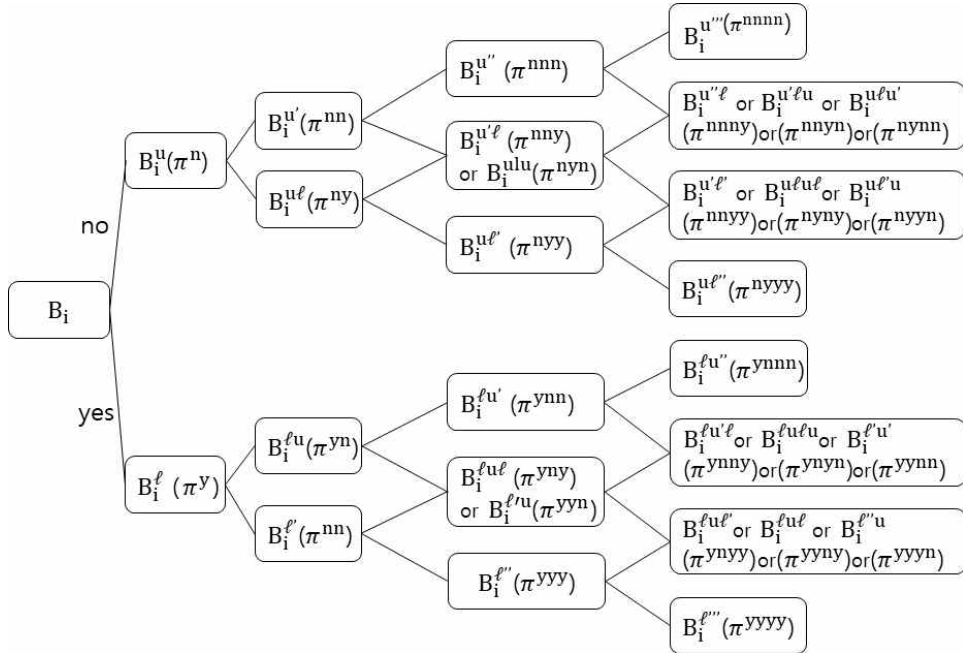


그림 3-5. 확률 정의 모식도

본 연구에서 사용되는 다중양분선택형 추정식 전개 과정은 다음과 같이 전개되며 사중양분형을 예시로 하면 다음과 같다.

$\pi^{yyyy}(B_i, B_i^l)$: B_i 에 ‘yes’로 응답하고 B_i^l 에 ‘yes’로 응답하고, B_i^l 에 ‘yes’로 응답하고, $B_i^{l'}$ 에 ‘yes’로 응답한 경우의 확률

$$\pi^{yyyy}(B_i, B_i^l) = \text{Prob}\{WTA_i < B_i^{l'}\} = F(B_i^{l'}; \theta)$$

$\pi^{yyyn}(B_i, B_i^l)$: B_i 에 ‘yes’로 응답하고 B_i^l 에 ‘yes’로 응답하고, B_i^l 에 ‘yes’로 응답하고, $B_i^{l'}$ 에 ‘no’로 응답한 경우의 확률

$$\pi^{yyyn}(B_i, B_i^l) = \text{Prob}\{B_i^{l'} \leq WTA_i < B_i^l\} = F(B_i^l; \theta) - F(B_i^{l'}; \theta)$$

.....(중략).....

$\pi^{nmy}(B_i, B_i^l)$: B_i 에 ‘no’로 응답하고 B_i^l 에 ‘no’로 응답하고, B_i^l 에 ‘no’로 응답하고, B_i^{ll} 에 ‘yes’로 응답한 경우의 확률
 $\pi^{nmy}(B_i, B_i^u) = \text{Prob}\{B_i^{ul} \leq WTA_i < B_i^{ul}\} = F(B_i^{ul}; \theta) - F(B_i^{ul}; \theta)$

$\pi^{mnn}(B_i, B_i^l)$: B_i 에 ‘no’로 응답하고 B_i^l 에 ‘no’로 응답하고, B_i^l 에 ‘no’로 응답하고, B_i^{ll} 에 ‘no’로 응답한 경우의 확률
 $\pi^{mnn}(B_i, B_i^u) = \text{Prob}\{B_i^{ul} < WTA_i\} = 1 - F(B_i^{ul}; \theta)$

WTA_i : 응답자 i의 잠재 수용의사금액

θ : 파라메타 벡터

$F(\cdot)$: 로지스틱(혹은 정규) 누적확률분포함수

로지스틱 누적확률 분포함수 $F(B; \theta)$ 는 아래와 같이 정의한다(김여라 외 2007, 강동관 외 2011).

$$F(B) = F(-a - x_i' \beta - \beta_{bid} \ln B)$$

a 는 상수항, x_i 는 응답자 특성을 나타내는 벡터, β 는 x_i 의 계수 파라메타 벡터이다. β_{bid} 는 $\ln B$ 의 계수 파라메타, B 는 제시된 금액으로 양의 값(+)을 가진다. $F(B)$ 는 로지스틱 분포함수 혹은 정규분포함수를 가정한다.

θ 를 조건부로 각 응답확률을 로그 변환하여 로그확률함수로 전환하면, n 명의 응답자에 대한 관측값(1, 2, ..., n)이 관측될 확률은 우도함수(likelihood function)로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln L(\Theta) = \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{array}{l} d^{yyyy} \ln \pi^{yyyy}(B_i, B_i^l) + d^{yyym} \ln \pi^{yyym}(B_i, B_i^l) + d^{yyny} \ln \pi^{yyny}(B_i, B_i^l) \\ + d^{ynyy} \ln \pi^{ynyy}(B_i, B_i^l) + d^{ymym} \ln \pi^{ymym}(B_i, B_i^l) + d^{ymnn} \ln \pi^{ymnn}(B_i, B_i^l) \\ + d^{ynny} \ln \pi^{ynny}(B_i, B_i^l) + d^{ymnn} \ln \pi^{ymnn}(B_i, B_i^l) + d^{nyyy} \ln \pi^{nyyy}(B_i, B_i^u) \\ + d^{nyym} \ln \pi^{nyym}(B_i, B_i^u) + d^{nnyy} \ln \pi^{nnyy}(B_i, B_i^u) + d^{nyyy} \ln \pi^{nyyy}(B_i, B_i^u) \\ + d^{nyym} \ln \pi^{nyym}(B_i, B_i^u) + d^{nnyy} \ln \pi^{nnyy}(B_i, B_i^u) + d^{nnny} \ln \pi^{nnny}(B_i, B_i^u) \\ + d^{nnnn} \ln \pi^{nnnn}(B_i, B_i^u) \end{array} \right.$$

n은 관측 대상자 수이며, 더미변수 d_i 는 다음과 같은 규칙을 갖는다.
 d_i^{yyyy} :(yes, yes, yes, yes)=1, 이 외는 0, d_i^{yyym} :(yes, yes, yes, no)=0 ... 가장 끝의 대답이 'yes'이면 1, 'no'이면 0 이다.

Θ 최우추정량(maximum likelihood)은 로그우도함수 $\ln L(\Theta)$ 를 Θ 에 대해 미분한 값을 0으로 두고 계산하여 우도함수를 극대화 하는 Θ 값을 구할 수 있다.

$$\ln L(\Theta) / \partial \Theta = 0$$

추정된 파라메타와 각 속성의 평균치로 구성된 벡터 x_i 를 F(B)에 대입하면 평균적인 응답자의 제시액에 대한 수락률을 구할 수 있다. 확률함수는 로지스틱 혹은 일반 함수로 가정한다. WTA의 평균값은 보통 이 확률함수를 모든 WTA에 대해 적분하여 구할 수 있다. 그러나 이 함수가 '0'에 수렴할 경우 평균값이 발산할 가능성이 있으므로 절단 평균값으로 구하기도 한다. 평균적으로 응답자가 각 제시금액 B에 대해 수락할 확률을 S(WTA), 최소제 제시액에 대한 수락확률을 $S(WTA_{MIN})$ 라고 한다면, 수정된 절단 평균값은 다음과 같다.

$$E(WTA) = \int_0^{WTA_{MIN}} \frac{S(WTA)}{1 - S(WTA_{MIN})} d WTA$$

WTA의 중앙값은 아래와 같이 계산된다.

$$Me(WTA) = \exp \left[\frac{-(\hat{a} + x' \hat{\beta})}{\hat{\beta}_{bid}} \right]$$

일반적으로 대푯값으로 이용되는 것은 평균값, 수정된 절단평균값, 중앙값이다. 본 연구에서는 WTA에 대한 극단적인 값이 평균에 영향을 크게 줄 수 있는 위험성을 제거하기 위해 중앙값을 타당성 있는 대푯값으로 선정하였다.

다중선형 회귀분석 모형에서 Y는 산림탄소배출상쇄권을 단위당 생산하는데 드는 비용(원/ tCO_2)이며 X_1 은 수종으로 명목변수, X_2 은 지위지수, X_3 은 임령, X_4 은 사업 규모는 연속형 변수이며 회귀계수b는 개별적인 인자들이 단위당 생산비용에 미친 영향력을 나타내며 ϵ 는 오차항을 나타낸다. 단위당 생산비용에 영향을 미치는 요인들은 수종, 지위지수, 임령에 따라 탄소흡수량에 영향을 끼치는 임분수확모델의 주요 인자를 선정하였다. 또한 박진택 외(2016)의 사업 규모는 산림탄소흡수량 당 비용에 대해 설정한 다중회귀모형에서 통계적으로 유의미하다고 결정된 사업 규모를 추가로 선정하여 다음과 같은 분석 모형을 설정하였다. 데이터의 정규분포화를 위해 변수를 로그 및 역수 변환시켜 모형을 설정하였다. 본 연구의 모든 통계 분석은 STATA version 14.2를 사용하였다.

$$\ln Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3^{-1} + b_4 \ln X_4 + \epsilon$$

Y: 단위당 생산비용

b_0 =상수, b =회귀계수, X: 수종, 지위지수, 임령, 사업 면적

제 4 장 연구결과 및 고찰

제 1 절 응답자의 일반 현황 및 표본의 대표성

1. 인구통계학적 · 사회경제적 특성

2020년 3월 초부터 4월 중순으로 약 40일에 걸쳐 설문조사를 실시했다. 모집단 68명의 산주에 대하여 3월 6일부터 우편을 발송하고 전화로 설문 참여 여부를 조사했다. 전화로 설문 참여 의사를 밝힌 산주는 우편 수신, 개인정보 이용 동의서 및 감사 편지 발송, 설문조사 내용과 이해를 돕기 위한 통화, 방문 조사(1명) 등의 과정을 거쳐 4월 17일까지 40부가 회수되었으며 분석에 활용할 수 있는 설문지는 36부였다. 표본은 모집단의 52.9%의 응답이므로 과반이 넘었다. 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주들은 자신이 참여하고 있는 사업에 대한 연구가 진행된다는 사실에 많은 흥미를 보였고 소통을 하는 데도 적극적이었다. 일반적인 우편 설문의 회수율이 10~25%임을 고려하면 사업에 대한 관심도가 높고 의사소통에 적극적인 편이라고 볼 수 있다. 설문 응답자 전체의 인구통계학적 특성은 아래 <표 4-1>과 같다.

산주의 성별은 남자가 94.4% 여자가 5.7%로 남자 산주가 월등히 많은 것으로 나타났다.

평균 연령은 66.8세로 고령층의 산주가 많은 것으로 나타났고, 가장 높은 연령은 83세이고 가장 낮은 연령은 50세이며 중위 연령은 68세로 나타났다.

학력의 경우 대졸이 47.2%로 가장 많았으며 19.4%로 대학원 졸이 그 뒤를 이었다. 참여 산주의 평균적인 연령대를 고려했을 때 고학력자의 비중이 매우 높게 나타났다.

연평균 소득의 경우 3,000~4,500만 원과 1,500~3,000만 원이 각각 22.2%로 가장 많았고 가장 낮은 저소득층과 가장 높은 소득층의 비율이 각각 19.4%로 같게 나타났다.

부재 산주와 주재 산주는 약 52.8%와 47.2%로 부재 산주의 비율이 더 높았다. 임업은 산주가 거주하며 노동을 제공해야 하지만 산림탄소상쇄사업은 상주하며 노동을 제공할 필요가 없어서 부재 산주의 비율이 높은 것으로 해석된다.

36명에 대한 인구통계학적 특성 및 배경의 분포는 <부록 3-1>과 같이 나타난다.

표 4-1. 인구통계학적 특성 및 배경

변수	항목	빈도(명)				χ^2 통계량
		60년	100년	합계	비율(%)	
성별	남	16	18	34	94.44	$\chi^2=2.118$ (p=0.146)
	여	2	0	2	5.56	
연령	50대	2	5	7	19.44	$\chi^2=2.619$ (p=0.454)
	60대	7	5	12	33.33	
	70대	8	8	16	44.44	
	80대	1	0	1	2.78	
	집단 평균	67.7	66	66.8		
학력	초졸	1	0	1	2.78	$\chi^2=2.602$ (p=0.627)
	중졸	1	0	1	2.78	
	고졸	4	6	10	27.78	
	대졸	9	8	17	47.22	
	대학원졸	3	4	7	19.44	
연평균 소득	1,500만 원 이하	4	3	7	19.44	$\chi^2=1.097$ (p=0.895)
	1,500~3,000만 원 이하	5	3	8	22.22	
	3,000~4,500만 원 이하	4	5	9	25.00	
	4,500~6,000만 원 이하	2	3	5	13.89	
	6,000만 원 이상	3	4	7	19.44	
부재 여부	부재 산주	8	11	19	52.78	$\chi^2=1.003$ (p=0.317)
	주재 산주	10	7	17	47.22	

설문지는 별기령이 60년일 때와 100년일 때 두 그룹으로 18명씩 나누어 배부했다. 별기령 60년일 때와 100년일 때 나눈 두 그룹은 집단간 교차분석을 실시한 결과, 유의확률이 모두 $p < 0.05$ 수준에서 두 집단 간 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 사업 기간별 집단에 따라 성별, 연령, 학력, 연 소득, 부재 여부는 통계적으로 볼 때 의미를 부여하기 힘들고 집단 간에 차이가 있다고 할 수 없다.

2. 산주특성, 자원특성 및 위치특성

산주의 특성은 사업에 적극성과 인식으로 분류하였다. 적극성은 산림탄소 협회 가입 여부, 산림탄소배출상쇄권 거래현황과 산림탄소배출상쇄권 및 탄소배출권 가격 현황 인지 여부, 자발적 참여 여부, 설명회 참석 여부를 포함한다. 인식은 산림의 공익적 가치를 선호하는지 경제적 가치를 선호하는지, 산림의 탄소흡수 능력을 얼마나 중요하게 생각하고 있는지를 내포한다. 산주의 배경적 특성에는 인구통계학적 특성과 부재 산주 여부, 소유 산림면적이 포함된다.

사업에 대한 노력은 6점 만점으로 측정되었으며 최저 점수가 0점 최고 점수가 6점으로 나타났다. 6점인 산주는 1명, 5점인 산주 5명, 4점인 산주 5명, 3점인 산주 5명, 2점인 산주 8명, 1점인 산주 11명, 0점인 산주 1명으로 1점에서 2점 사이의 산주가 가장 많았다. 5점 이상으로 사업에 대한 인지 수준이나 적극성을 높게 띠는 산주들은 2019년에 사업을 등록한 산주가 4명, 2018년에 2명으로 최근에 사업을 등록한 산주들이었다. 반면 2016년에 등록한 산주들은 평균 3점, 2017에 등록한 산주들은 평균 1.5점으로 비교적 최근에 등록한 산주들보다 적극성이 떨어지는 현상이 나타났다<부록 3-2>. 이는 설문조사 중 산주의 태도에도 나타났다. 사업을 시작한지 오래된 산주들은 산림탄소상쇄사업에 대해 회의적인 태도를 보였으며 앞으로 산림탄소상쇄사업의 전망이 부정적이라고 생각하였다. 따라서 적극적인 노력을 하는 것이 무의미하다는 생각을 가진 산주들이 많았다. 이는 설문조사에 앞서 설문조사 참여 의사를 조사할 때도 비슷한 경향을 보였다. 사업을 시작한지 더 오래된 산주일수록 산을 매각했거나 더 이상 관심이 없다며 설문조사를 응하지 않았다.

산림의 공익적 가치를 선호하는 산주는 6명, 산림의 경제적 가치를 선호하는 산주는 30명으로 나타났다. 사회공헌형보다는 거래형을 선택한 산주들의 목적이 드러나는 결과라고 볼 수 있다.

소유 산림면적은 평균 66.2ha로 나타났으며 산림청(2019)의 전국 산주 현황을 참고하면 사유림 산주의 소유 면적이 평균 1.9ha임을 감안해봤을 때

산림탄소상쇄사업에 참여한 산주의 소유 면적이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 산주가 투자자로서 다른 소규모 산주보다 활용할 수 있는 임지가 많기 때문에 여러 투자 대안 중 산림탄소상쇄사업을 선택한 것으로 해석된다. 사업대상지 특성에서 지위지수는 평균 13.19, 임령은 평균 35.43년이다. 현실림임분수확표를 참고하여 사업대상지에 존재하는 수종에 대해 지위지수 14와 임령 35년을 적용하면 산림탄소상쇄사업 별기령 연장 사업대상지의 임분 평균 흉고직경은 19.58cm 평균 수고는 12.68m, ha당 분수는 982.58본, 우세목 수고는 15.14m, ha당 총재적은 177.693m³/ha, 정기평균성장량은 5.77 m³/ha, 정기평균성장률은 3.48%, 연평균성장량은 5.07m³/ha/yr이다.

표 4-2. 산주 특성

변수	항목		평균 값 혹은 빈도				검정 통계량
			60년	100년	합계	비율(%)	
적극성	사업에 대한 노력	매우 높음(5~6)	2	4	6	16.67	$\chi^2=4.583$ (p=0.205)
		높음(3~4)	3	7	10	27.78	
		낮음(1~2)	12	7	19	52.78	
		매우 낮음(0)	1	0	1	2.78	
인식	선호 가치	공익적 가치	3	3	6	16.67	$\chi^2=0.000$ (p=1.000)
		경제적 가치	15	15	30	83.33	
	산림탄소흡수능력중요도	매우 중요	16	15	31	86.11	$\chi^2=1.032$ (p=0.597)
		중요	2	2	4	11.11	
		어느 정도 중요	0	1	1	2.78	
배경	소유 산림 면적	10ha 미만	1	4	5	13.89	$\chi^2=3.276$ (p=0.513)
		10ha 이상	6	6	12	33.33	
		30ha 미만	4	2	6	16.67	
		30ha 이상	4	2	6	16.67	
		50ha 미만	4	2	6	16.67	
		50ha 이상	3	4	7	19.44	
		100ha 미만	4	2	6	16.67	
100ha 이상	4	2	6	16.67			

수종은 침엽수와 활엽수로 구분하여 조사하였다. 침엽수가 우세한 사업대상지보다 활엽수가 우세한 사업대상지가 많았으며 사업 대상지별 상위 2순위로 가장 많이 분포하고 있는 수종은 참나무류 381.15ha, 소나무류

156.61ha로 나타났다.

생태자연도는 보호구역과 개발 가능 구역으로 나누었다. 보호구역인 1등급 지역이 6곳, 1등급 이외의 개발 가능 구역이 30곳으로 나타났다. 개발 가능 구역은 산주가 임지를 다른 용도로 사용하려면 얼마든지 사업을 포기하고 임지에 개발을 할 수 있는 조건을 갖추고 있다는 것을 의미한다. 사업대상지가 개발가능 구역이 많다는 것은 산주를 지속적으로 산림탄소상쇄사업에 참여시킬 유인이 반드시 필요하다고 해석할 수 있다.

도로 접근성은 사업대상지에 도로가 접한 대상지와 맹지를 구분하여 조사하였다. 맹지는 14곳으로 분류되었으며 21곳은 도로가 인접한 곳으로 나타났다. <표 4-2>와 <표 4-3>의 모든 변수의 검정통계량을 통해 사업 기간별 집단에 따라 통계적으로 의미를 부여하기 힘들고 두 집단에 차이가 있다고 할 수 없다. 모든 변수의 분포는 <부록 3-3>, <부록 3-4>와 같이 나타난다.

표 4-3. 사업대상지 특성

변수	항목		평균 값 혹은 빈도				검정 통계량
			60년	100년	합계	비율(%)	
자원 특성	지위지수	12미만	1	4	5	13.89	$\chi^2=2.800$ (p=0.247)
		12이상 14미만	11	11	21	61.11	
		14이상	6	3	9	25.00	
	수종	침엽수	7	10	17	47.22	$\chi^2=1.003$ (p=0.317)
		활엽수	11	8	19	52.78	
	생태자연도	보호구역	3	3	6	16.67	$\chi^2=0.000$ (p=1.000)
		개발가능구역	15	15	30	83.33	
	임령	30미만	4	2	6	16.67	$\chi^2=1.286$ (p=0.732)
		30이상 35미만	4	6	10	27.78	
		35이상 40미만	6	7	13	36.11	
		40이상	4	3	7	19.44	
	위치 특성	도로 접근성	도로인접	9	13	22	61.11
맹지			9	5	14	38.89	

3. 표본의 대표성

결과의 정확성을 확보하기 위해 연구에서 설정한 응답자의 특성이 전체 표본을 얼마나 대표하는지 확인할 필요가 있다. 본 연구의 범위에서 파악할 수 있는 모집단의 특성은 자원 특성에 한정된다. 다른 산주에 관한 특성은 설문에 동의하지 않은 산주들에게 회수할 수 없으므로 확인 불가능하기 때문이다. 모집단의 자원 특성은 산림탄소등록부에 등록된 사업계획서를 통해 수집하였으며 채택된 변수 중에서 이진 변수는 제외하고 t-test와 f-test를 통해 모집단과 표본 집단의 집단 간 차이를 분석하였다. 우선 지위지수, 수종, 임령에 대해서 모집단과 표본 집단의 평균과 표준편차를 구하면 아래 <표 4-4>, <표 4-5>과 같다.

표 4-4. 모집단의 평균

항목	t-test		
	Obs	Mean	Std.Dev.
지위지수	68	13.30	1.68
수종	68	0.50	0.26
임령	68	34.99	5.13
사업규모	68	41.72	54.55

표 4-5. 표본의 평균

항목	t-test		
	Obs	Mean	Std.Dev.
지위지수	36	13.17	1.74
수종	36	0.54	0.28
임령	36	35.36	5.27
사업규모	36	45.28	62.65

모집단의 지위지수에 대한 평균은 13.3, 수종에 대한 평균은 0.43, 임령에 대한 평균은 34.99로 나타났으며 이를 기준으로 표본 집단에 대한 t-test를 실시한 결과는 아래 <표 4-6>과 같으며 변수의 분포는 <부록 3-5>과 같이 나타난다.

표 4-6. 모집단에 대한 가설검정

항목	t-test			
	Obs	Mean	Std. Dev.	P
지위지수	36	13.17	1.74	0.66
수종	36	0.54	0.28	0.34
임령	36	34.99	5.27	0.68
사업 규모	35	45.28	62.65	0.73

각 변수에 대한 귀무가설은 표본 집단의 평균이 모집단의 평균과 같다고 가정하였다. 수종과 지위지수, 임령, 사업 규모는 5% 수준에서 통계적으로 유의미하지 않게 나타났으므로 귀무가설은 기각할 수 없어 표본 집단의 평균이 모집단의 평균과 같다는 결론을 내릴 수 있다. 연구대상의 특성상 모집단의 산주의 특성과 위치특성이 고려되지는 않았지만 표본에 대한 자원 특성은 모집단을 대표한다고 볼 수 있다.

제 2 절 산림탄소상쇄사업 비용에 대한 영향 요인

1. 산림탄소상쇄사업 비용분석

36건의 산림탄소상쇄사업의 이산화탄소 톤당 비용과 연간 흡수량을 계산하면 <부록 3-6>과 같다. 벌기령이 60년일 때와 100년일 때의 시나리오를 가정하여 기존 임령에서 벌기령까지의 기간을 사업 기간으로 보고 총 흡수량에서 총 비용을 나누어 계산하였다. 벌기령이 60년일 때와 100년일 때 평균 비용을 그래프로 나타내면 다음 <그림 4-1>와 같다.

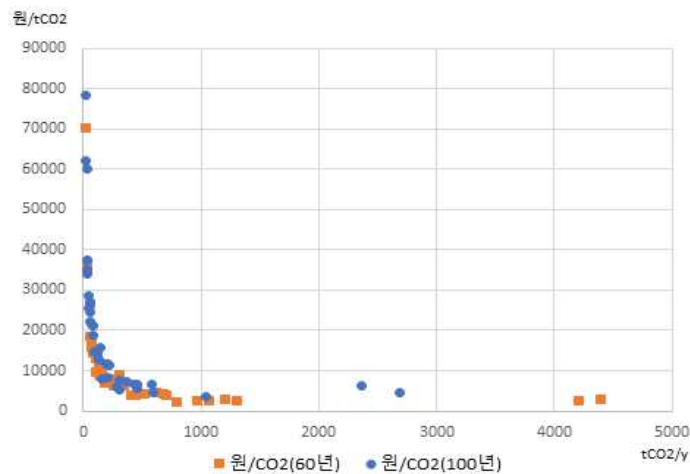


그림 4-1. 벌기령 시나리오에 따른 사업규모별 평균비용 그래프

별기령이 60년일 때 사업 36건에 대한 평균비용은 10,843원/tCO₂/y으로 나타났으며 최소 비용은 2,287원/tCO₂/y, 최대비용은 70,177원/tCO₂/y이었다. 100년일 때 사업 36건에 대한 평균비용은 21,892원/tCO₂/y, 최소 비용은 3,698원/tCO₂/y, 최대 비용은 80,698원/tCO₂/y으로 나타났다.

그래프로 나타낸 결과 원점으로부터 볼록한 그래프가 도출되며 60년, 100년 시나리오는 각각 $y = 274,771x^{-0.6}$ 와 $y = 221,047x^{-0.61}$ 이고 두 곡선의 적합도는 87.8%, 88.2%로 나타났다.

연간 이산화탄소흡수량이 증가할수록 이산화탄소 단위당 생산비용은 감소한다. 연간 이산화탄소를 많이 흡수하는 사업일수록 평균비용이 낮은 것으로 나타났다.

2. 산림탄소상쇄사업 비용 결정 요인

산림탄소상쇄사업의 평균비용(원/tCO₂)에 영향을 미치는 변수들을 파악하기 위한 다중선형 회귀분석을 실시하였다. 이 분석은 산림탄소상쇄사업의 평균비용에 영향을 미치는 요인을 조사하여 평균비용을 최소화할 수 있는 조건을 찾을 수 있기 때문이며 비용을 최소화할 수 있다면 참여를 산림탄소상쇄사업의 전체 응답자 36명에 대해 수종, 규모, 지위지수, 임령을 독립변수로 하고 산림탄소상쇄사업의 평균비용(원/tCO₂)을 종속변수로 설정하였다. 4개의 독립변수를 고려하여 구성한 모델은 다음 식과 같다.

$$\ln Y = \beta^0 + \beta^1 X_1 + \beta^2 X_2 + \beta^3 X_3^{-1} + \beta^4 \ln X_4$$

종속변수: 평균비용, β^0 =상수, β =회귀계수,
 X_1 : 수종, X_2 : 생태자연도, X_3 : 임령, X_4 : 사업 면적

사업에 대한 비용, 사업 규모, 지위지수는 정규분포를 따르지 않았다. 따라서 정규성 가정을 충족시키기 위해 데이터 전처리(data processing)을 실시

하였다. 평균비용과 사업 규모는 로그 변환을 통해 데이터를 가공하였다. 마찬가지로 지위지수의 경우도 정규성 가정을 충족시키기 위해 역수로 변환하여 분석을 실시하였으며 변환된 변수들의 정규분포는 <부록 3-7>과 같이 나타났다.

설정된 모델을 기반으로 분석한 결과 수종과 규모가 통계적으로 유의미했으며 유의수준은 수종의 경우 10%, 사업 규모는 5% 수준에서 유의하게 나타났다. 유의한 두 변수에 대해 영향력의 방향은 수종(-), 사업 규모(-)로 가설과 같은 방향으로 나타났다. 한편, 지위지수와 임령 변수는 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다. 모형에 대한 다중회귀분석 결과와 모형 적합도는 다음 <표 4-7>와 같다.

표 4-7 다중선형 회귀모형 추정 결과(n=36)

변수	별기령 60년(n=36)			
	B	S.E.	t	P
수종	-0.509	0.285	-1.79	0.084*
임령	-0.058	0.012	-4.67	0.000***
지위지수	7.297	8.398	0.87	0.392
사업대상지 면적	-0.526	0.069	-7.61	0.000***
상수항	12.283	0.734	16.73	0.000***
모형 적합도	결정계수 R ²	0.8115	조정된 R ²	0.7871
변수	별기령 100년(n=36)			
	B	S.E.	t	P
수종	-0.628	0.289	-2.18	0.037**
임령	-0.020	0.013	-1.62	0.115
지위지수	7.515	8.494	0.88	0.383
사업대상지 면적	-0.558	0.070	-7.98	0.000***
상수항	11.723	0.743	15.78	0.000***
모형 적합도	결정계수 R ²	0.8112	조정된 R ²	0.7869

*** p<0.01 수준에서 유의, ** p<0.05 수준에서 유의, * p<0.1 수준에서 유의

이 모델에 대한 변수 간 선형관계를 판단하기 위해 피어슨 상관계수를 이용했으며<표 4-8>, 독립변수 간 다중공선성을 파악하기 위해 분산팽창인자 vif를 이용하였다.

표 4-8. Pearson 상관계수

	별기령 60년				
	평균비용	수종	입령	지위지수	사업면적
평균비용	1.0000	-0.4701*	-0.3286*	0.1342	-0.8145*
수종	-0.4701*	1.0000	-0.0139	0.2629	0.4419*
입령	-0.3286*	-0.0139	1.0000	0.2221	-0.0365
지위지수	0.1342	0.2629	0.2221	1.0000	-0.2503
사업 면적	-0.8145*	0.4419*	-0.0365	-0.2503	1.0000
	별기령 100년				
	평균비용	수종	입령	지위지수	사업면적
평균비용	1.0000	-0.5273*	-0.0815	0.1893	-0.8772*
수종	-0.5273*	1.0000	-0.0139	0.2629	0.4419
입령	-0.0815	-0.0139	1.0000	0.2221	-0.0365
지위지수	0.1893	0.2629	0.2221	1.0000	-0.2503
사업 면적	-0.8772*	0.4419	-0.0365	-0.2503	1.0000

피어슨 상관계수는 종속변수와 독립변수 사이에는 유의미한 상관관계를 갖는 변수도 있었지만 독립변수 간 유의미한 정도의 선형관계가 나타나지 않았다. 독립변수 간 상관관계가 높은 것을 다중공선성(multicollinearity)이 발생한다고 한다(류시균 2008). 독립변수 간 서로에게 영향을 준다면 왜곡된 분석 결과를 초래할 수 있기 때문에 다중공선성이 나타나는지 확인하는 것은 매우 중요하다. 다중공선성을 나타내는 지표인 분산팽창인자(variance inflation factor, VIF)는 예측변수들이 상관성이 있을 때 추정 회계 계수의 산포 크기를 측정하는 것이며, 산포 크기가 커질수록 모형을 신뢰할 수 없게 된다. VIF 값이 1에 가까우면 다중공선성이 없어 모형을 신뢰할 수 있으며 VIF 값이 5 이상이면 다중공선성이 있다고 보고, 10 이상이면 다중공선성이 매우 심각하다고 평가할 수 있다. 본 다중선형 회귀분석에서는 평균적으로 VIF가 1.26과 1.38로 추정되었으며 가장 높은 VIF는 1.37와 1.54로 5보다 작고 1에 가깝게 나타나 다중공선성이 없는 변수들로 구성되었다고 볼 수 있다. 따라서 설정된 모델을 로지스틱 회귀분석으로 왜곡되지 않는 결과를 도출할 수 있다고 판단하여 4개의 변수를 분석에 사용하였으며 분산팽창인자에 대한 결과표는 <표 4-9>과 같이 나타났고 분산분석 결과는 <표 4-10>과 같다.

표 4-9. 다중선형 회귀모형 분산팽창인자

Variable	별기령 60년		별기령 100년	
	VIF	1/VIF	VIF	1/VIF
수중	1.37	0.73	1.54	0.65
규모	1.31	0.76	1.52	0.66
지위지수	1.31	0.76	1.39	0.72
입령	1.03	0.97	1.06	0.94
mean of VIF	1.26		1.38	

종속변수가 회귀식에 의해 설명되는 분산은 18.942이고 설명되지 않는 분산은 3.301이다 이 값들을 각각 자유도로 나누면 평균제곱 값 4.735, 0.142으로 나타나며 평균 제곱 F값은 4.735를 0.142로 나눈 비율 값으로 33.35이다. 유의확률은 0.0000이므로 회귀식의 모든 회귀계수들은 0이라는 귀무가설을 기각하여 회귀식이 종속변수를 설명하는 데 유용하다고 할 수 있다. 추정된 모형의 타당성을 검증을 위해 조정된 결정계수를 따른다. 다중회귀 분석의 경우 독립변수가 증가함에 따라 잔차항의 제곱 합이 감소하게 되고 결과적으로 결정계수의 값이 증가하게 된다. 결정계수를 증가시키기 위해 종속변수의 설명에 중요하지 않은 독립변수를 추가하는 경우가 발생하지 않도록 자유도를 동시해 고려한 조정된 결정계수를 사용한다. 설명력은 독립변수로 이루어진 회귀식이 종속변수를 예측할 수 있는 정도를 나타내는 것이다. 결정계수는 0과 1 사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 관계가 높고 데이터 분포를 제대로 표현한다고 할 수 있다. 하지만 모형을 평가할 때 참고하는 수준으로 사용하고 모형 적합도의 절대적 기준으로 판단하는 것은 모형 평가에 적절치 않다.

표 4-10. 분산분석

별기령 60년	제곱합	df	평균제곱	F	유의수준
회귀분석	18.9418249	4	4.73545622	33.36	0.0000
잔차	3.30068541	31	.141957594		
통계	23.3425103	35	.666928866		
별기령 100년	제곱합	df	평균제곱	F	유의수준
회귀분석	19.352126	4	4.8380315	33.30	0.0000
잔차	4.50320033	31	.145264527		
통계	23.8553263	35	.681580752		

아래 <그림 4-2>과 <그림 4-3>을 살펴보면 잔차를 통해 모형을 진단하기 위해 잔차가 0을 중심으로 U자 형태를 띠지 않고 분포되어있기 때문에 선형성 가정이 위배된다고 볼 수 없다. 또한 잔차들의 분포가 특정 구간에서 급격히 커지거나 작아지지 않아 이분산이 심각하다고 볼 수 없어 등분산성을 만족하는 것으로 볼 수 있다. 또한 잔차끼리 어떠한 경향을 가진다고 보기 어렵기 때문에 독립성을 가진다고 볼 수 있다<부록 3-8>.

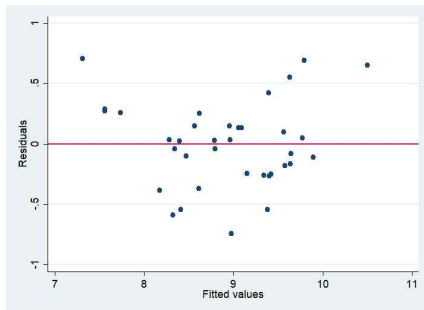


그림 4-2. 별기령 60년 시나리오의 등분산성

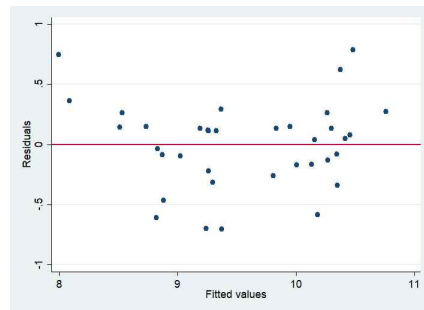


그림 4-3. 별기령 100년 시나리오의 등분산성

연구 모형에 대한 다중선형회귀분석 추정 결과를 요약하면 다음 <표 4-11>과 같다.

표 4-11. 다중선형 회귀분석 결과 요약

변수	가설	기대 방향	분석 결과		가설검정 결과
			별기령 60	별기령 100	
수종	1	-	-*	-*	채택
임령	2	+	-***	-	기각
지위지수	3	-	+	+	기각
사업대상지 면적	4	-	-***	-***	채택

*** p<0.01 수준에서 유의, ** p<0.05 수준에서 유의, * p<0.1 수준에서 유의

설정된 모형을 통해 가설을 검증한 결과 수종, 지위지수, 사업 규모가 예상한 방향으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 통계적으로 유의미한

결과는 수종과 사업 규모로 나타나 해당 가설들이 채택되었다. 유의미한 변수들의 영향력을 해석하면 다음과 같다.

수종이 활엽수림에 가까울수록 산림탄소상쇄사업의 평균비용이 낮아지는 것으로 나타났다. 김소원 외(2014)은 활엽수가 침엽수보다 단위 면적(ha)당 탄소 저장량이 높다는 것을 밝혔고 국립산림과학원의 주요 수종 표준 탄소 흡수량 산출 결과로 활엽수가 탄소 흡수량이 더 높게 나타났다. 따라서 활엽수일수록 탄소 흡수량이 많아지고 톤당 비용(원/ tCO_2)은 낮아지게 된다.

임령이 낮을수록 생장률이 높기 때문에 평균비용이 낮아질 것으로 예상했으나 분석 결과 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 박진택 외(2016)은 사업 기간과 크레딧 생산비용은 부(-)의 영향을 미친다고 하였다. 사업 기간이 길어지면 비용이 줄어든다는 의미인데, 사업 기간이 길어진다는 것은 별기령에 도달하기까지의 기간이 길어진다는 것이므로 대상지의 임령이 낮아지기 때문에 평균비용이 낮아질 것이라는 가정을 설정했지만 통계적으로 유의미하지 않았다. 박진택 외(2016)의 연구에서 임령이 아닌 사업 기간 자체를 변수로 설정하여 검증하였고 본 연구에서는 임령으로 설정했기 때문에 차이가 발생했을 수 있다.

지위지수가 높을수록 탄소흡수능력이 높기 때문에 평균비용이 낮아질 것으로 예상했으나 분석 결과 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 일반적으로 생장이 빠른 수종의 탄소흡수 능력이 우수하다고 밝혀졌는데 임분수확표를 보면 지위지수가 높아질수록 연평균생장량이 높아진다(오창영 외 2014). 따라서 지위지수가 흡수량에 영향을 미칠 것이고 평균비용에 영향을 줄 수 있을 것이라 가정했지만 실제로 관련이 없는 것으로 나타났다. 지위지수보다 다른 조건이 흡수량에 더 영향을 줄 수 있기 때문에 위와 같은 결과가 나왔을 것으로 해석된다.

사업 대상지 면적이 넓어질수록 산림탄소상쇄사업의 평균비용은 낮아지는 것으로 나타났다. 박진택 외(2016)이 사업계획서를 이용해 산림탄소배출상쇄권을 분석해 도출된 결과 사업 규모가 커질수록 비용이 낮게 나타난 것과 같은 맥락이다.

제 3 절 산림탄소상쇄사업 참여 의향과 영향 요인

1. 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의향

〈부록 3-9〉 제시된 수용의사금액 응답표를 참고하면 제시된 수용의사금액 154개의 응답 중 60개의 응답에서 산림탄소상쇄사업에 참여의향을 밝혔다. ‘수용의사금액의 수준에서 산림탄소배출상쇄권을 팔 수 있다면 지속적으로 참여하겠는가?’에 대한 답변을 예/아니오로 조사하였다. 아래 〈표 4-12〉와 같이 사업 기간이 60년일 때 수용률은 47.4%, 100년일 때 수용률은 37.2%로 나타났으며 사업 기간을 달리한 표본 집단 간 산림탄소상쇄사업 참여의향 차이가 있는지 교차분석을 실시한 결과 유의확률이 0.570으로 $p < 0.1$ 수준에서 귀무가설을 기각할 수 없었다. 따라서 산주가 사업 기간에 따라 산림탄소상쇄사업에서의 참여를 지속할 것인가를 결정하는 의사는 통계적으로 볼 때 의미를 부여하기 힘들다.

표 4-12. 사업 기간에 따른 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의향 차이

변수	전체		사업 기간 60년		사업 기간 100년		χ^2 통계량	
	빈도	비율	빈도	비율	빈도	비율		
참여 의향	예	65	42.2	36	47.4	29	37.2	$\chi^2=1.2478$ ($p=0.264$)
	아니오	89	57.8	40	52.6	49	62.8	
	합계	154	100	76	100	78	100	

〈표 4-13〉와 같이 산주들에게 본인이 수용한 WTA로 tCO_2 당 수익을 낼 수 있다면, 본인이 소유하고 있는 산지를 추가로 산림탄소상쇄사업에 등록할 의향이 있는지 조사하였다. 사업 기간이 60년일 때 7명, 100년일 때 5명이 자신이 가지고 있는 산지를 추가로 등록할 의향이 있다고 밝혔다. 사업 기간이 더 짧을 때 소유 면적대비 추가등록 할 의향이 더 높았다. 추가등록 의향 산주의 비율은 60년일 때 더 높았고 소유한 산지 대비 추가 등록 의향 면적의 비율은 사업 기간이 60년일 때 29.7%, 100년일 때 5.9%로 나타났다.

표 4-13. 추가면적 의향

		응답자 수	소유 면적(ha)	사업등록 면적(ha)	추가등록 의향 면적(ha)
60년	추가	7	1,025.0	195.9	420.3
	추가안함	11	386.8	360.0	
	합계	18	1,410.8	555.9	
100년	추가	5	209.0	145.5	55.5
	추가안함	13	725.9	665.5	
	합계	18	934.9	811.0	

2. 수용의사금액 조사 결과

수용의사금액을 도출하기 위해 산주 한명 당 총 다섯 번의 질문을 실시하였다. PPM에 따라 WTA의 상한선은 규제시장의 탄소배출권 가격 기준인 40,000원/tCO₂로 설정했다. 질문은 초기제시가격에서 수용가능하면 더 낮은 금액을 제시하고 수용하지 못하면 더 높은 가격을 제시하며 최종 수용의사금액을 찾아가는 방식으로 조사하였다. 설계된 수용의사금액 질문에 따라 산주의 답변이 결정되고 PPM에 의해 상한 금액이 제한되기 때문에 각 응답자의 답변에 따라 회수할 수 있는 수용의사금액의 개수가 결정된다. 응답자 36명에게 회수한 수용의사 금액은 총 154개로 별기령이 60년일 때 76개, 100년일 때 78개로 나타났다. 별기령이 60년 일 때 WTA는 17,040원/tCO₂로 나타났고 사업 기간이 100년일 때 WTA가 23,070원/tCO₂으로 나타났다. 이러한 결과는 사업 기간이 길어질수록 산주들이 인식하는 기회비용이 커지기 때문이라고 해석할 수 있다. Lindhjem and Mitani(2012)는 WTA를 비시장적 구성요소의 변화에 대한 보상 잉여금과 기회비용의 합으로 정의하고 있다. 사업 기간이 길수록 사업대상지를 더 오랫동안 보전해야하기 때문에 기회비용이 커지고 그에 따라 WTA가 높아지는 것이다. 수용의사금액 응답표 <부록 3-9>를 보면 설문을 통해 수집한 수용의사금액과 그 금액에 대한 수용률을 나타냈다. 사업 기간이 60년일 때 최저 수용의사금액은 3,200원/tCO₂이며 100년일 때 최저 수용의사금액은 10,000원/tCO₂으로 나타났다. 별기령에 따라 제시된 수용의사금액에 대한 수용률은 47.4%, 37.2%로

나타났다. 이 연구 결과는 사업 계약 기간이 짧을수록 참여 가능성이 높다는 Miller et al.(2012)의 연구 결과와 상통한다.

아래 <그림 4-4>은 수용의사금액에 대한 한계효과를 나타낸 그래프이다. 이 그래프는 수용의사금액에 따른 사업의 지속적인 참여 가능성의 변화를 나타낸다. 사업 기간이 60년일 때와 100년일 때 응답자 모두 WTA가 높게 제시될수록 참여 가능성이 높은 것으로 나타났다. WTA는 사업에 참여함으로써 얻지 못하는 최소 보상 수준이나 기회비용과 보상 잉여금의 합이다 (Lindhjem and Mitani 2012, Bush et al. 2013). 따라서 산주는 투자자의 관점에서 더 긴 기간 동안 산림자원 이용에 제한을 받으면서 발생하는 기회비용에 대한 더 높은 보상을 요구할 수 있다.

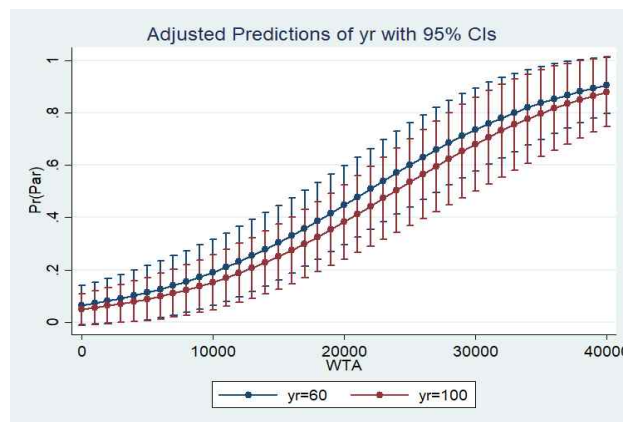


그림 4-4. WTA에 따른 사업의 지속적 참여 가능성

수용의사금액 설문 결과 산림탄소상쇄사업 참여에 대한 수용의사금액 수용 거부 의사를 밝힌 산주를 제외한 산주들의 평균 WTA는 21,762원/ tCO_2 으로 김영환 외(2016)의 선행연구에서 제시했던 산림탄소배출상쇄권 적정 정부구매가격 15,000원 수준보다 다소 높은 가격으로 형성되었다. 이는 산림탄소배출상쇄권 생산자인 산주가 자신이 투입한 비용보다 더 높은 금액을 받으려는 투자심리가 반영된 것이라고 할 수 있다.

3. 산림탄소상쇄사업의 지속 참여확률 결정 요인

산림탄소상쇄사업 비용 결정 요인 분석에서와 같이 독립변수 사이에 유의미한 관계가 있는지 파악하기 위해 다중공선성을 확인한 결과 평균적으로 VIF가 1.69로 추정되었으며 가장 높은 VIF는 2.43으로 5보다 크지 않아 다중공선성이 없는 변수들로 구성되었다고 볼 수 있다. 따라서 설정된 모델을 로지스틱 회귀분석으로 왜곡되지 않는 결과를 도출할 수 있다고 판단하여 13개의 변수를 분석에 사용하였으며 분산팽창인자에 대한 결과표는 <표 4-14>과 같다.

표 4-14. 로지스틱 회귀모형 분산팽창인자

Variable	VIF	1/VIF
생태자연도	2.43	0.41
부채 산주 여부	2.09	0.48
소유 산림면적	1.92	0.52
사업에 대한 노력	1.87	0.53
입령	1.78	0.56
도로 접근성	1.71	0.59
가구소득	1.65	0.61
연령	1.59	0.63
교육 수준	1.57	0.64
공익적 가치 선호	1.37	0.73
수종	1.34	0.75
성별	1.33	0.75
수용의사금액	1.28	0.78
mean of VIF	1.69	

전체 응답자 36명의 WTA값에 대응하는 표본 개수 154개의 응답에 대해 사업특성, 산주특성, 사업대상지특성을 독립변수로 하고 산림탄소상쇄사업의 참여의사를 종속변수로 하여 모형을 구축하였다. 모형은 총 세 가지로 나누어 분석하였다. 설계된 모형은 전체 154개의 응답을 가지고 모든 독립변수와 중요한 표본설계변수인 사업 기간을 구분하기 위해 사업 기간이 60년으로 가정하여 설문한 집단과 100년으로 가정하여 설문한 집단을 더미변

수로 처리하여 분석하였다. 전체 응답자로부터 사업 기간, 사업특성, 산주 특성, 사업대상지 특성이 산주의 사업 참여를 증가시키는 데 유의미한 영향을 미치는지 파악할 수 있다. 분석 결과 수용의사금액, 공익가치 선호도, 교육 수준이 통계적으로 유의했으며 유의수준은 수용의사금액의 경우 1%, 교육 수준은 5%, 공익가치 선호도는 10%에서 유의하게 나타났다. 유의한 세 변수에 대해 회귀계수의 값을 기준으로 영향력의 방향은 수용의사금액(+), 공익가치 선호도(+), 교육 수준(+)으로 예상과 같은 방향으로 나타났다. 한편, 사업에 대한 노력, 연령, 성별, 가계 소득, 소유 면적, 부재 산주 여부, 수종, 생태자연도, 임령, 도로 접근성 변수는 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다.

추정된 모형의 타당성을 검증할 위해 우도비 검정, 유사 결정계수(Pseudo- R^2), Hosmer & Lemeshow 지수를 이용하였다. 우도비 검정은 모형에 변수가 추가 혹은 제거될 때 모형 적합도의 변화량을 나타낸다. 이는 독립변수들이 포함되었을 때 로지스틱 회귀모형의 적합성을 나타낸다. 모형은 독립변수를 모두 포함시킨 것으로 모든 ‘독립변수의 계수가 0이다’ 가 귀무가설이며 카이제곱 값이 30.86이고 $p=0.006$ 으로 귀무가설이 기각되므로 모형은 유의한 것으로 나타났다. Hosmer & Lemeshow 검정도 모형의 적합도를 검정하는 용도이며 카이제곱 값은 종속변수의 실제 값과 모형에 의한 예측치 간의 일치 정도를 나타낸다. 모형의 적합도 분석을 위해 귀무가설의 기각 여부와 모형의 유의수준을 확인해야한다. 귀무가설은 산림탄소상쇄사업에 참여에 대한 ‘관측빈도와 예측빈도는 일치한다.’ 이고, 유의수준은 $p=0.065$ 으로 0.05보다 크게 나타나 귀무가설을 기각할 수 없기 때문에 본 연구의 모형은 통계적으로 적합한 것으로 분석되었다. Cox & Snell Pseudo의 R^2 값과 Nagelkerke Pseudo의 R^2 값은 로그우도함수 값을 이용하여 도출한 결정계수로 선형회귀분석의 R^2 에 대응하는 유사결정계수 값으로, Cox & Snell Pseudo의 R^2 는 0.232, Nagelkerke Pseudo의 R^2 는 0.312으로 나타나 모형 설명력이 23.2%, 또는 31.2% 정도라고 할 수 있다. Cohen (1988)에 따르면 심리지표 등의 사회과학연구에서 결정계수가 13% 이상이면 어느 정도의 효과가 있는 것으로 판단한다. 설명력은 독립변수로 이루어

진 회귀식이 종속변수를 예측할 수 있는 정도를 나타내는 것이다. 하지만 로지스틱 회귀모형과 같이 일반화선형모형의 결정계수를 일반화 하는데 있어 R^2 보다 작은 값의 최대값을 갖도록 조정해주는 의미이기 때문에 모형을 평가할 때 참고하는 수준으로 사용하고 모형 적합도의 절대적 기준으로 판단하는 것은 모형 평가에 적절치 않다. 모형에 대한 로지스틱 회귀분석 결과와 모형 적합도는 다음 <표 4-15>와 같다.

표 4-15. 로지스틱 회귀 함수식 추정 결과(n=154)

변수	모형(n=154)				
	B	S.E.	Wald	Sig	Exp(B)
수용의사금액	0.000	0.000	19.249	0.000***	1.000
사업에 대한 노력	-0.295	0.181	2.654	0.103	0.745
공익가치 선호도	1.070	0.591	3.272	0.070*	2.915
소유 면적	0.048	0.034	1.998	0.185	1.049
부재 산주 여부	-0.884	0.847	1.088	0.431	0.413
연령	0.622	0.306	4.137	0.158	1.862
성별	-0.285	0.198	2.075	0.297	0.752
교육 수준	0.003	0.002	1.759	0.042**	1.003
가계 소득	-0.435	0.552	0.621	0.150	0.647
수종	1.522	0.952	2.556	0.110	4.582
생태자연도	-1.543	1.001	2.379	0.123	0.214
임령	0.071	0.061	1.341	0.247	1.073
도로 접근성	-0.272	0.479	0.323	0.570	0.762
상수항	-9.256	3.196	8.386	0.004***	0.000
모형 적합도	likelihood ratio test			$\chi^2=30.86$ (p=0.006)	
	Cox & Snell R^2			0.232	
	Nagelkerke R^2			0.312	
	Hosmer & Lemeshow			$\chi^2=14.72$ (p= 0.065)	

*** p<0.01 수준에서 유의, ** p<0.05 수준에서 유의, * p<0.1 수준에서 유의

연구 모형에 대한 로지스틱 회귀분석 추정 결과는 다음 <표 4-16>과 같다.

표 4-16. 로지스틱 회귀분석 결과 요약

변수	가설	기대 방향	분석 결과	가설검정 결과
수용의사금액	1	+	+***	채택
사업에 대한 노력	2	+	-	기각
공익가치 선호도	3	+	+*	채택
소유 면적	5	+	+	기각
부재 산주 여부	6	+	-	기각
연령	7	+	+	기각
성별	8	+	-	기각
교육 수준	9	+	+**	채택
가계 소득	10	+	-	기각
수종	12	+	+	기각
생태자연도	13	+	-	기각
임령	14	-	+	기각
도로 접근성	15	-	-	기각

*** p<0.01 수준에서 유의, ** p<0.05 수준에서 유의, * p<0.1 수준에서 유의

설정된 모형을 통해 가설을 검증한 결과 수용의사금액, 공익적 가치 선호도, 소유 면적, 연령, 교육 수준, 수종, 도로 접근성 변수가 예상한 방향으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 통계적으로 유의미한 결과는 수용의사금액, 공익가치 선호도, 교육 수준으로 나타나 해당 가설들이 채택되었다. 유의미한 변수들의 영향력을 해석하면 다음과 같다.

산주의 수용의사금액이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 높은 것으로 나타났다. 이는 수용의사금액을 독립변수로 채택해 산림탄소사업의 참여 여부에 대한 종속변수에 미치는 영향을 분석한 Lindhjem and Mitani (2012)와 Miller et al.(2012) 연구와 같은 결과이며 WTA와 유사한 개념으로 Håbesland et al.(2016)의 연구에서는 산림탄소사업의 참여를 위해 제시하는 금액은 참여 의사와 양의 상관관계가 있다고 나타났다. 이상 제시된 선행연

구에서는 WTA를 Hicks적 편익추정치 구분에 따라 보상의 측면에서 제공하는 것으로 정의했다. 때문에 보상이 증가로 효용이 증가한다면 생산을 증가시키기 위해 산주의 참여가 증가할 수 있으며 수용의사금액의 증가는 참여에 긍정적인 영향을 미친다고 말할 수 있다.

산주의 공익가치 선호도가 높을수록 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 산주의 공익가치 선호도는 산주가 산림의 시장적 가치와 비시장적 가치 중 어떤 것을 선호하는지 나타낸 것으로 산림의 비시장적 가치를 높게 평가하는 산주들이 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 높아지는 것으로 나타났다. Miller et al.(2012)은 탄소 사업으로 인해 잠재적으로 증진될 수 있는 토양, 물, 야생동물 등의 비시장적 산림 가치 평가를 높게 하는 산주는 사업 참여 의사와 양의 상관관계를 나타냈다. 시장적 가치보다 비시장적 가치를 높게 평가한다는 것은 단순히 산림을 경제적 수단으로 보는 것이 아니라 환경적보전적 측면에서 바라봄으로써 공익적 가치를 추구하는 것이라고 볼 수 있다. 또한 Häbesland et al.(2016)과 (신승욱 2017)의 연구에서도 공익적 가치를 추구하는 산주의 태도 및 환경 인식이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 투자할 확률이 높은 것으로 나타났다.

교육 수준이 높아질수록 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 증가하는 것으로 나타났다. Häbesland et al.(2016)의 연구에서는 교육 수준이 높은 산주일수록 산림탄소사업 참여 의지가 높은 것으로 나타났다. 해당 연구에서 네 가지 모형 중 전체응답자, 150ha를 초과하여 소유하고 있는 산주, 150ha 이하를 소유하고 있는 산주 집단에서 교육 수준이 양의 방향을 나타냈으며 통계적으로 유의미한 결과를 나타냈다. 신승욱(2017)의 연구에서는 세 가지 모형 중에서 대리경영을 하는 사람과 하지 않는 사람을 대상으로 한 모형에서는 교육 수준이 양의 방향을 나타냈지만 전체 응답자를 대상으로 한 모형에서는 음의방향으로 나타났고 통계적으로도 유의미한 결과를 얻을 수 없었다. 교육 수준이 높은 산주는 산림청의 산림탄소상쇄사업 시행계획 및 정보에 대한 신뢰가 상대적으로 높게 나타났으며 이러한 신뢰가 참여확률에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

설계된 모형에서 통계적으로 유의하지 않게 나온 나머지 10개의 변수에

대해 살펴보면 다음과 같다.

사업에 대한 노력이 높은 산주가 낮은 산주보다 사업에 참여할 확률이 높을 것으로 예상했으나 분석 결과 통계적 유의성이 없었다. Miller et al.(2012)의 연구에서는 기대 방향과 같은 방향으로 나타났지만 역시 통계적 유의성이 없었다. 사업에 대한 노력이 통계적 유의성을 나타내지 않은 이유를 좀 더 면밀하게 살펴보면 설문조사를 진행하면서 사업에 대한 노력이 더 많았던 산주들이 현재 산림탄소상쇄사업에 대한 기대가 더 많이 하락하였고 이는 산림탄소상쇄사업 초창기부터 사업으로 얻을 수 있는 수익의 불확실성뿐만 아니라 사업 진행 과정에서 투입되는 적지 않은 비용으로 인해 불만이 누적되고 제도에 대한 불신이 커졌기 때문에 통계적으로 유의하지 않게 나타났을 것이라고 해석할 수 있다.

소유 면적이 클수록 소유 면적이 작은 산주보다 산림탄소상쇄사업에 참여에 더 적극적일 것이라고 예상하였으나 분석 결과 기대 방향과 같은 방향임에도 불구하고 유의미한 영향을 미치지 않았다.

부재 산주일 경우 주재 산주보다 산림탄소상쇄사업에 더 적극적으로 참여할 것이라고 예상했으나 분석 결과 별다른 영향을 미치지 않았다.

인구통계학적 변수 중에 연령, 성별, 가계 소득은 유의미하지 않은 변수로 나타났다. 연령은 높을수록, 성별은 남성일수록 산림탄소상쇄사업에 대한 참여가 적극적일 것이라고 예상하였으나 분석 결과 별다른 영향이 없었다. 이는 산주들의 연령이 대체로 모두 높고 36명의 산주 중에서 단 두 명만이 여성으로 나타났기 때문으로 사료된다. 가계 소득이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 대한 참여가 적극적일 것이라고 예상하였으나 분석 결과 유의미하지 않은 것으로 드러났다.

산림 자원 및 대상지 특성에 대한 변수인 임령, 도로 접근성이 산림탄소상쇄사업에 대한 참여에 대해 부정적인 영향을, 수종, 생태자연도가 높은 곳은 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상하였으나 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 이는 산림 대상지의 특성보다는 개인 산주의 특성이 산림탄소상쇄사업 참여에 더 영향력이 있다는 것으로 해석할 수 있다.

제 4 절 고찰

1. 연구가설 검증결과

본 연구는 두 가지의 질문을 가지고 이 질문에 대한 가설을 검증한다. 첫 번째 질문인 ‘산림탄소상쇄사업의 평균비용을 낮추는 요인은 무엇일까?’에 대한 가설 검증 결과 수종과 사업면적이 사업비용(원/tCO₂)에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 두 번째 질문인 ‘산림탄소상쇄사업을 참여하고 있는 산주가 원하는 적정 탄소가격에 따라 참여 가능성이 어떻게 변화하는가?’에 대한 가설 검증 결과 수용의사금액, 공익가치 선호도, 교육 수준, 산림탄소상쇄사업 참여 결정에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 산림탄소상쇄사업 참여 의사 결정에 영향을 미치는 사업의 특성과 산주의 특성은 산림탄소사업의 공급곡선 이동 요인이 된다. 즉, 수용의사금액, 공익적 가치, 교육 수준이 높은 산주들이 수용의사금액을 받아들이고 사업에 지속적으로 참여할 확률이 높아진다.

2. 산주의 지속 참여 의사 결정과정

산림탄소상쇄사업 벌기령 연장 사업은 임지가 벌기령이 되었을 때 벌채를 하지 않고 벌기령을 연장하여 산림탄소 흡수량을 증대시키는 사업이다. 산림탄소상쇄사업 산림경영 유형에서 가장 많은 등록 수를 기록하고 있다. 이 사업에 가장 많이 참여하는 단일 사업자 유형은 개인 산주로 전체 사업에 60%를 넘는 수치를 보인다. 벌기령 연장은 다른 산림경영사업보다 개인 산주가 진입이 많은 것으로 나타났다.

첫 번째 질문인 ‘산림탄소상쇄사업의 평균비용을 낮추는 요인은 무엇일까?’에 대한 해답을 찾기 위해서는 비용을 도출해야 한다. 비용에 대한 정의는 크게 행정비용, 컨설팅 비용, 검증비용, 기회비용으로 나누었다(Miln and Adler 1999, Cacho, Marshall and Milne 2005, 한기주 2007, 조장환 2011, 박진택 외 2016). 탄소흡수량은 산림탄소상쇄사업 가이드라인을 따라

계산하였다. 다중선형 회귀분석 결과, 평균비용에 영향을 미치는 요인은 수종과 사업 면적 두 가지로 나타났다. 활엽수종이 많은 비율을 차지할수록, 사업면적이 넓을수록 단위당 생산비용이 낮아졌다. 하지만 단위당 생산비용은 수종의사금액이나 참여 의사와 통계적으로 유의미한 관계를 나타내지 않는 것으로 나타났다. Lindhjem and Mitani(2012)는 WTA를 비시장적 구성요소의 변화에 대한 보상 잉여금과 기회비용의 합으로 정의하고 있다. 기회비용과 기타 비용에 영향을 받기는 하지만 산주마다 사업 기간이 다르고 사업에 대해 기대하는 보상 잉여금이 다르기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 해석된다. 또한 산림탄소상쇄사업에 참여하기 위해 수용할 수 있는 금액을 도출하는 과정에서 이론적으로 현실적인 방법을 제시하기 위해 거래 가능한 가격 범위 내로 산림탄소배출상쇄권의 가격을 매수 호가로 제한하는 PPM 방법을 이용하였다. 상한선을 한국거래소 상쇄배출권 가격인 4만 원으로 책정하고 그 범위 내에서 WTA를 조사하여 매수호가보다 낮은 수준의 매도호가를 도출할 수 있었다. 도출된 WTA 수준에서 가격지정 정책을 시행한다면 산주들이 사업을 포기하지 않고 이끌어가는 데 도움이 될 것이다. 이러한 정책은 임가의 소득을 보장함으로써 산림탄소상쇄제도를 보호할 수 있어 더 많은 산주들의 참여를 이끌어 내는 데 도움을 줄 수 있다. 기존의 산림탄소상쇄사업 비용에 대한 연구는 산림탄소흡수량의 정부구매를 위한 적정 구매가격을 산출하기 위한 한계저감 비용을 분석하였다(김영환 2016). 컨설팅 비용과 사업비용을 지원받을 경우 산림경영 사업은 만 오천 원 이상에서 수익이 발생하는 것으로 나타났다. 한계저감비용을 통해 도출된 가격은 산림탄소상쇄사업의 투자 비용에서 수익을 감하고 이산화탄소 흡수량으로 나눈 값인데 이 값을 바탕으로 손익분기점이 넘는 지점에서 가격을 결정한다는 것은 생산자의 매도호가와는 괴리가 있을 수 있다. 박진택 외(2016)은 산림탄소 상쇄배출권 가격은 평균 92,827원/ tCO_2 으로 나타났으며 사업별 특성을 반영한 평균값은 5만 원에서 12만 원 사이로 매우 높게 나타났다. 한편, 산림경영 사업의 사업비용이 11,142원/ tCO_2 으로 가장 낮게 나타났는데 분석 대상이 4개의 사업이라 일반화하기에 한계가 있었다. 본 연구는 선행연구의 표본 수보다 많은 표본을 확보했지만 그 수가 제한적이

기 때문에 후속 연구에서는 지속적으로 유입되는 산주들의 수용의사금액을 조사하여 보다 정확한 수용의사금액을 도출할 필요가 있다.

본 연구는 연구사에서 검토한 산림탄소 사업 및 보전 사업의 기회비용을 수용의사금액으로 상정한 계량경제학적 연구로 분류할 수 있다. 국내 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주를 대상으로 실증 분석을 통해 개선된 비시장적 가치평가 방법을 시도함으로써 국내 연구사에 기여하고자 하였다. 사유림 산주의 사업 참여에 대한 의사 결정은 산주의 효용을 극대화하는 방향으로 이루어지는데, 연구 결과 국내외 선행연구에서 산림탄소상쇄사업 및 산림보전사업 참여에서 긍정적인 요인으로 밝혀진 변수들이 유의한 영향을 미치지 못했다는 점에서 국내 거래형 산림탄소상쇄사업 벌기령 연장 사업을 하는 산주의 산림탄소상쇄사업에 대한 참여 의사 결정은 국외 산림탄소상쇄사업 참여 산주와 국내 다른 유형의 산림탄소상쇄사업을 참여하는 산주의 의사 결정 과정과 부분적으로 상이하다고 할 수 있다. 국내에서는 산림탄소상쇄사업의 배출권 거래로 인한 수익이 발생하지 않는 상황이고, 산주의 소유 면적이 국외의 경우보다 상대적으로 작으며 사업 유형에 따라 사업의 특성이 상이하기 때문에 이러한 결과가 도출되었을 가능성이 있다. 본 연구 결과와 가장 유사한 결과가 도출된 기존 연구는 노르웨이 산주의 참여 가능성을 추정한 Håbesland et al.(2016)의 연구 결과였다. 이 연구에서 제안된 금액에 대해 높은 금액을 채택한 사람일수록, 소유 면적이 더 클수록, 교육 수준이 더 높을수록, 기후변화에 대한 태도가 긍정적일수록, 비시장재 임산물 가치의 중요성이 낮을수록, 경영활동에 대한 장벽이 낮을수록 참여 가능성이 높았다. 노르웨이의 산림보호구역은 임업이 허용되지 않아 한국의 벌기령 연장사업과 비슷한 사업특성을 갖는다. 미국의 레이크 주를 대상으로 한 Miller et al.(2012)의 연구 대상자인 산주들은 본 연구의 대상자들과는 다르게 긴 사업 기간을 선호한다는 특성을 가지고 있었다. 계약기간을 15년에서 100년까지 더 세분화해 선택할 수 있도록 산림탄소상쇄사업을 정의한 것이 특징이다.

비용에 영향을 주는 요인에 대해 도출한 결과는 산주들이 산림탄소상쇄사업에 진입할 때 어떤 조건이 비용을 최소화할 수 있는지 고려해야 하는

기반자료를 제공할 수 있다. 산주의 수용의사금액이 높아질수록 참여 가능성이 높아진다는 것을 통계적으로 밝혀냈기 때문에 탄소흡수량이 높은 수종으로 갱신하는 산주들에게 높은 산림탄소배출상쇄권의 가격을 제시해 줌으로써 탄소흡수량을 증가시키는 데 도움을 줄 수 있다. 로지스틱 회귀 함수식 추정 결과에 따라 참여 가능성을 따져보면 1원/ tCO_2 의 수용의사금액을 덜 제시받은 산주보다 더 제시받은 산주가 사업에 참여할 가능성이 0.0125% 증가하였다. 이는 수종에 따라 차별화된 탄소인센티브를 제공하는 것이 탄소흡수량을 증가시키는 데 도움이 된다고 강조한 한기주와 윤여창(2009)의 연구와 맥락을 같이한다. 산림의 경제적 가치보다 공익적 가치를 선호하는 산주의 참여 가능성을 따져보면 산림의 공익적 가치를 선호하는 산주가 산림의 경제적 가치를 선호하는 산주보다 사업에 참여할 가능성이 191.45% 증가하였다. 정부는 공익적 가치의 의미를 잘 알고 있지 못하는 산주들을 위해 탄소 흡수원으로써 갖는 공익적 가치의 중요성을 전달하는 교육을 실시하여 참여 가능성을 높이는 방안을 제안할 수 있다. 교육 수준에 따른 참여 가능성을 따져보면 교육 수준이 한 등급 낮은 집단보다 한 등급 높은 집단이 사업에 참여할 가능성이 86.21% 증가하였다. 교육 수준이 산림탄소상쇄사업의 참여에 영향을 미친다는 결과는 교육 수준이 상대적으로 낮은 산주의 이해를 돕고 참여를 장려할 수 있도록 정책적 배려가 필요하다. 이진석(2013)에 따르면 교육 수준은 개인 단체 참여에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 단체 참여에 대한 적극적 태도는 김영환(2013), 한희 외(2019)에서 강조한 산림탄소상쇄사업의 규모화를 위해서도 필요하다. 설계된 모형에서 통계적으로 유의미하지 않게 나타난 10개의 변수는 표본이 36개로 크지 않기 때문일 수 있으므로 추가적인 분석이 필요하다.

제 5 장 결 론

산림탄소상쇄제도는 산림을 이용해 탄소 흡수량을 증진하고 확보한 산림 탄소흡수량을 정부가 인증해주는 제도로 국가 온실가스 감축이라는 국가적 목표와 공익기능의 증진을 통한 국민 복지 증진의 측면에서도 기여할 수 있다. 하지만 기존의 많은 연구들은 산림탄소상쇄사업이 보조금 없이는 수익성이 없다는 결론을 내렸다. 이에 따라 산림탄소상쇄제도 초기, 산림청은 정부구매를 위한 재원확보를 계획했었으나 현실적으로 산주의 사업비용에 대한 부담이 증가하고 있다. 이러한 상황은 투자자로서 수익성에 대한 불안감이 커지는 요소가 될 수 있으며 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주들이 지속해서 참여할 의향의 여부에 따라 산림탄소상쇄제도의 존폐가 좌우될 수 있다. 따라서 본 연구는 산림탄소상쇄사업의 비용 결정요인 분석을 통해 비용을 낮출 수 있는 조건을 논하고 수용의사금액을 도출하였으며 참여 가능성이 높아지는 특성을 규명하여 산주의 지속 가능한 참여 확대를 위한 정책상 의의를 도출하고자 하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 산림탄소상쇄사업 비용에 영향을 미치는 요인은 수종과 사업 면적으로 나타났다. 벌기령이 60년일 때와 100년일 때 모두 수종과 사업 면적이 비용에 유의미한 영향을 미치는 변수로 나타났는데 수종은 활엽수의 비율이 높을수록, 사업면적은 넓을수록 비용이 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 활엽수를 가진 산주나 사업면적이 넓은 산주들에게 우선적으로 사업 참여를 권장할 수 있도록 하는 기반자료로 사용될 수 있다. 둘째, 산림탄소상쇄사업에 지속적 참여 의사 결정에 영향을 미치는 요인은 수용의사금액, 공익가치 선호도, 교육 수준으로 나타났다. 수용의사금액, 공익가치 선호도, 교육 수준이 높을수록 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 높았다. 로지스틱 회귀 함수식 추정 결과에 따라 참여 가능성을 따져보면 1원/ tCO_2 의 수용의사금액을 덜 제시받은 산주보다 더 제시받은 산주가 사업에 참여할 가능성이 0.0125%, 산림의 공익적 가치를 선호하는 산주가 산림의 경제적 가치를 선호하는 산주보다 사업에 참여할 가능성이 191.45% 증가, 교육 수준이 한 등급 낮은 집단보다 한 등급 높은 집단이 사업에 참여할 가능성

이 86.21% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 산주가 주어진 환경적 특성보다 인지하고 실행하는 측면에서의 특성이 산림탄소상쇄사업 참여 가능성에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다. 분석 결과 도출된 조건은 산림탄소배출상쇄권에 대한 공급곡선을 우측으로 이동시킬 수 있는 요인이다. 연구 결과에 따라, 사유림의 산림탄소상쇄사업 참여 및 공급 확대 방안을 제시하면 다음과 같다. 첫째, 산주가 원하는 산림탄소배출상쇄권의 가치를 인정해주어야 한다. 산림탄소배출상쇄권의 가격을 수용의사금액 수준에서 지지해준다면 산주들의 참여를 이끌어낼 수 있기 때문이다. 산주가 산림탄소 흡수량을 확보할 수 있도록 정책적으로 WTA 수준의 가격을 지지할 수 있는 방안이 마련되어야 하는 데 정책적으로 실현 가능하게 하기 위해서 자발적 탄소시장의 사업이 외부사업으로써 규제시장에 연계되어야 하기 때문에 WCI는 캘리포니아 주의 (Climate Action Reserve, CAR)의 산림사업 프로토콜과 같이 사업의 영속성을 위해 사업 기간을 기존 60년에서 100년으로 연장하여 더욱 엄격하게 규정하는 등의 제도적 장치 마련이 필요하다. Ecosystem Marketplace(2018)에 따르면 세계적으로 자발적 탄소시장의 가격 범위는 $\$0.1/tCO_2 \sim \$70/tCO_2$ 이며 평균가격은 $\$3/tCO_2$ 이며 캘리포니아 규제시장의 탄소배출권 평균 가격은 $\$14/tCO_2$ 으로 나타나 국내 외부사업 인증 실적 가격보다 낮은 수준이다. 한편 벌기령 연장에 대한 비용은 Sohngen and Brown(2008)의 연구에 따르면 미국 12개의 주에서 $\$7/tCO_2$ 으로 나타났고 미국의 당시 물가에 대한 상승률을 적용해 본다고 해도 $\$9/tCO_2$ 미만이다. 반면 본 연구에서 사업 기간에 따라 비용이 $\$14 \sim 19/tCO_2$ 로 나타나 미국의 벌기령 연장 사업보다 높게 나타났다. 따라서 산주가 사업을 진행하는데 비용의 구조적 문제를 개선하기 위해 불필요한 절차를 간소화하거나 금전적 부담을 덜어줄 수 있는 정책적 지원이 필요하다. 둘째, 공익가치 인식 제고를 위한 지원이 필요하다. 공익가치 선호도가 높을수록 사업 참여 확률이 증가하기 때문이다. 공익적 가치의 개념을 모르거나 중요성을 간과하고 있는 산주들을 위해 공익적 가치의 개념 및 중요성에 대해 교육을 실시하여 산림탄소상쇄사업이 공익적 가치를 증대하는 데 기여할 수 있는 사업이라는 인식을 가질 수 있도록 하는 것은 산림탄소배출상쇄권 공급을 증대시

키는 요인이 될 것이다. 셋째, 교육 수준이 높은 산주를 대상으로 우선적으로 사업의 규모화를 시행하는 정책적 전략을 고려해 볼 수 있을 것이다. 조응혁(1981)은 교육 수준이 높을수록 산주가 협업경영에 참여할 의도가 높다는 것을 밝혀냈다. 교육 수준이 높아질수록 산림탄소상쇄사업에 참여할 확률이 증가하고 협업 산림경영의 가능성이 높기 때문이다. 본 연구의 결과가 갖는 의의는 현재 산림탄소상쇄사업에서 가장 높은 증가율을 보이는 거래형 벌기령 연장사업에 대해 실질적 데이터를 이용하여 잠재적 공급량을 분석하고 산림탄소배출상쇄권의 공급자인 산주들의 지속적 참여 결정 의사를 경제이론에 근거하여 계량적으로 평가하였다는 점에서 산림탄소상쇄제도의 확장을 위한 기틀을 마련하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 한계점은 다음과 같다. 연구가 시작되는 시점인 2019년 5월부터 2020년 5월까지 1년간 새로 등록된 산림탄소상쇄사업은 79건 이었다. 따라서 보다 많은 표본을 연구에 포함시키는 데 시간적 한계가 있었다. 또한 이 연구는 거래형 벌기령 연장 사업에서 사업주체가 개인 산주인 사업을 대상으로 하였기 때문에 표본의 특성이 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 모든 산주를 대변하지 못할 가능성이 높다. 따라서 가장 높은 비율로 꾸준히 증가하고 있는 거래형 벌기령 연장 사업과 수종갱신을 포함하는 산림경영 방법론에 대한 추가연구를 통해 점진적으로 정책의 범위를 넓혀나가는 전략이 필요하다. 산림탄소상쇄사업뿐만 아니라 다른 생태계서비스 가치를 측정할 때 WTP보다 WTA를 추정하는 것이 논리적으로 적절한 경우가 있다. 하지만 WTA이 WTP보다 과대치 측정 확률이 높다는 것으로 알려져 있어 WTA의 추정을 권유하지 않는다. 생태계서비스를 생산하는 생산자 입장에서 적절한 가치에 대한 평가를 제공하는데 유용한 도구로 쓰일 수 있게 하기 위해서는 WTA을 측정할 때 PPM의 효과를 객관적으로 검증할 수 있도록 적절한 임계점(provision point) 설정에 대한 추가적이 연구도 필요할 것이다. 또한 제한된 표본의 수를 가지고 모델이 복잡해지면 설명력이 낮아지기 때문에 추가적으로 고려하지 못한 변수들은 과거 벌채 경험, 정부로부터 얻는 정보의 신뢰도, 임산물 소득, 경사도, 중심지와의 거리, 수용 가능한 사업 기간 등이 있다(Miller et al. 2012, 신승욱 2017, Alhassan et al. 2019). 후속 연구

에서는 더 다양한 위치특성의 변수를 포함하여 참여의사에 유의미한 영향을 주는지 확인해볼 필요가 있고 더 많은 변수를 고려하기 위해서는 본 연구 보다 많은 표본을 확보해야할 필요가 있다. 제한적인 표본에 대해서는 로지스틱 회귀분석에 이용된 응답 154개가 36명에 대한 응답이기 때문에 결과를 해석할 때 과대추정 가능성을 주의해야한다.

참 고 문 헌

- A. Kramer, R., Sharma, N., & Munasinghe, M. (1995). Valuing tropical forests: methodology and case study of Madagascar. The World Bank.
- Adams, R. M., Adams, D. M., Callaway, J. M., Chang, C. C., & McCarl, B. A. (1993). Sequestering carbon on agricultural land: social cost and impacts on timber markets. *Contemporary Economic Policy*, 11(1), 76-87.
- Adetoye, A. M., Okojie, L. O., & Akerele, D. (2018). Forest carbon sequestration supply function for African countries: An econometric modelling approach. *Forest Policy and Economics*.
- Alhassan, M., Motallebi, M., & Song, B. (2019). South Carolina forestland owners' willingness to accept compensations for carbon sequestration. *Forest Ecosystems*, 6(1), 16.
- Alig, R., Adams, D., McCarl, B., Callaway, J. M., & Winnett, S. (1997). Assessing effects of mitigation strategies for global climate change with an intertemporal model of the US forest and agriculture sectors. *Environmental and Resource Economics*, 9(3), 259-274.
- Angelsen, A. (2010). Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 19639-19644.
- Bateman, I. J., Langford, I. H., Jones, A. P., & Kerr, G. N. (2001). Bound and path effects in double and triple bounded dichotomous choice contingent valuation. *Resource and Energy Economics*, 23(3), 191-213.
- Boyd, B. K. (1995). CEO duality and firm performance: A contingency model. *Strategic Management Journal*.
- Boyle, Kevin J., Richard C. Bishop, and Michael P. Welsh. 1985. Starting

- point bias in contingent valuation bidding games. *Land Economics* 61:188-94.
- Bush, G., Hanley, N., Moro, M., & Rondeau, D. (2013). Measuring the local costs of conservation: A provision point mechanism for eliciting willingness to accept compensation. *Land Economics*.
- Cacho, O. J., Marshall, G. R., & Milne, M. (2005). Transaction and abatement costs of carbon-sink projects in developing countries. *Environment and Development Economics*.
- Charles, M. A., & Kasilingam, D. R. (2013). Does the investor's age influence their investment behaviour?. *Paradigm*, 17(1-2), 11-24.
- Chung, Y. S., & Chiou, Y. C. (2017). Willingness-to-pay for a bus fare reform: A contingent valuation approach with multiple bound dichotomous choices. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.
- Condit, R. (2008). Methods for estimating aboveground biomass of forest and replacement vegetation in the tropics. *Center for Tropical Forest Science Research Manual*, 25.
- Dempsey, J., Plantinga, A. J., & Alig, R. J. (2010). What explains differences in the costs of carbon sequestration in forests? A review of alternative cost estimation methodologies. *Technical Coordinator*, 87.
- Dudek, D. J., & LeBlanc, A. (1990). Offsetting new CO₂ emissions: a rational first greenhouse policy step. *Contemporary Economic Policy*, 8(3), 29-42.
- Fisher, B., Lewis, S. L., Burgess, N. D., Malimbwi, R. E., Munishi, P. K., Swetnam, R. D., ... Balmford, A. (2011). Implementation and opportunity costs of reducing deforestation and forest degradation in Tanzania. *Nature Climate Change*.
- Galik, C. S., and R. B. Jackson, 2009, Risks to forest carbon offset

- projects in a changing climate, *Forest Ecology and Management*, 257, 2209–2216.
- Golub, A., Hertel, T., Lee, H. L., Rose, S., & Sohngen, B. (2009). The opportunity cost of land use and the global potential for greenhouse gas mitigation in agriculture and forestry. *Resource and Energy Economics*.
- Gregory, S. A., Conway, M. C., & Sullivan, J. (2003). Econometric analyses of nonindustrial forest landowners: Is there anything left to study?. *Journal of Forest Economics*, 9(2), 137–164.
- Gren, M., & Aklilu, A. Z. (2016). Policy design for forest carbon sequestration: A review of the literature. *Forest Policy and Economics*, 70, 128–136.
- Groothuis, P. A., & Whitehead, J. C. (2009). The provision point mechanism and scenario rejection in contingent valuation. In *Agricultural and Resource Economics Review*.
- Håbesland, D. E., Kilgore, M. A., Becker, D. R., Snyder, S. A., Solberg, B., Sjølie, H. K., & Lindstad, B. H. (2016). Norwegian family forest owners' willingness to participate in carbon offset programs. *Forest Policy and Economics*, 70, 30–38.
- Hammack, Judd and Gardner M. Brown, Jr. (1974). *Waterfowl and Wetlands: Toward Bioeconomic Analysis*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press.
- Hanemann, W. M. (1984). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultural Economics*.
- Harrison, G. W., Lau, M. I., Rutström, E. E., & Sullivan, M. B. (2004). ELICITING RISK AND TIME PREFERENCES USING FIELD EXPERIMENTS: SOME METHODOLOGICAL ISSUES. *Research in Experimental Economics*.
- Hein, L. (2017). Using forest carbon credits to offset emissions in the downstream business. *CONCAWE Review*, 26(1), 4–5.

- Hurteau, M. D., Hungate, B. A., & Koch, G. W. (2009). Accounting for risk in valuing forest carbon offsets. *Carbon Balance and Management*, 4.
- IPCC (2014) IPCC 제5차 평가 종합보고서 중 기후변화 2014 종합보고서, 정책결정자를 위한 요약보고서
- Kabra, G., Mishra, P. K., & Dash, M. K. (2010). Factors influencing investment decision of generations in India: An econometric study. KDI 공공투자관리센터, 한국환경경제학회. (2012). 예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구. 2012년도 예비타당성조사 연구보고서.
- Kendra, A., & Hull, R. B. (2005). Motivations and behaviors of new forest owners in Virginia. *Forest Science*, 51(2), 142-154.
- Kilgore, M. A., Snyder, S. A., Schertz, J., & Taff, S. J. (2008). What does it take to get family forest owners to enroll in a forest stewardship-type program?. *Forest Policy and Economics*, 10(7-8), 507-514.
- Langford, I. H., Bateman, I. J., & Langford, H. D. (1996). A multilevel modelling approach to triple-bounded dichotomous choice contingent valuation. *Environmental and Resource Economics*.
- Lindhjem, H., & Mitani, Y. (2012). Forest owners' willingness to accept compensation for voluntary conservation: A contingent valuation approach. *Journal of Forest Economics*.
- Lu, H., & Liu, G. (2015). Opportunity costs of carbon emissions stemming from changes in land use. *Sustainability*, 7(4), 3665-3682.
- Mayrhofer, J. P., & Gupta, J. (2016). The science and politics of co-benefits in climate policy. *Environmental Science and Policy*.
- Miller, K. A., Snyder, S. A., & Kilgore, M. A. (2012). An assessment of forest landowner interest in selling forest carbon credits in the Lake States, USA. *Forest Policy and Economics*.
- Milne, M. J., & Adler, R. W. (1999). Exploring the reliability of social and environmental disclosures content analysis. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*.

- Mourato, S., & Smith, J. (2002). Can carbon trading reduce deforestation by slash-and burn farmers? Evidence from the Peruvian Amazon. *Valuing the Environment in Developing Countries–Case Studies*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Ltd, 358–376.
- Ndjondo, M., Gourlet-Fleury, S., Manlay, R. J., Obiang, N. L. E., Ngomanda, A., Romero, C., ... & Picard, N. (2014). Opportunity costs of carbon sequestration in a forest concession in central Africa. *Carbon balance and management*, 9(1), 4.
- Nelson, R., Krabill, W., & Tonelli, J. (1988). Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. *Remote sensing of environment*, 24(2), 247–267.
- PHILLIPS, I., KING, A., & SHANNON, K. (1988). In vitro properties of the quinolones. In *The quinolones* (pp. 83–117). Academic Press.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. C. (1981). *Econometric models and Econometric factors* 2nd ed McGraw/Hill book Co. New York.
- Poe, G. L., Clark, J. E., Rondeau, D., & Schulze, W. D. (2002). Provision point mechanisms and field validity tests of contingent valuation. *Environmental and Resource Economics*.
- Romm, J., Tuazon, R., & Washburn, C. (1987). Relating forestry investment to the characteristics of nonindustrial private forestland owners in Northern California. *Forest Science*, 33(1), 197–209.
- Rondeau, D., Schulze, W. D., & Poe, G. L. (1999). Voluntary revelation of the demand for public goods using a provision point mechanism. *Journal of public Economics*, 72(3), 455–470.
- Sedjo, R., & Solomon, A. (1989). Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation. In *RFF Proceedings*.
- Snyder, S. A., Kilgore, M. A., Hudson, R., & Donnay, J. (2007). Determinants of forest land prices in Northern Minnesota: A hedonic pricing approach. *Forest Science*, 53(1), 25–36.
- Sohngen, B., & Brown, S. (2008). Extending timber rotations: carbon and

- cost implications. *Climate Policy*, 8(5), 435-451.
- Sohnngen, B., & Mendelsohn, R. (2003). An optimal control model of forest carbon sequestration. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(2), 448-457.
- Stavins, R. N., & Richards, K. R. (2005). The cost of U. S. forest-based carbon sequestration. *Pew Center on Global Climate Change*. 52, 52.
- Stavins, R., Lubowski, R., & Plantinga, A. (2006). Land-use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51, 135-152.
- Stern, N., & Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press.
- Thompson, D. W., & Hansen, E. N. (2012). Factors affecting the attitudes of nonindustrial private forest landowners regarding carbon sequestration and trading. *Journal of Forestry*, 110(3), 129-137.
- Wang, F., & Guldmann, J. M. (1996). Simulating urban population density with a gravity-based model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 30(4), 245-256.
- 강동관, 이해춘, 이규용. (2011). 유학생 도입의 경제적 효과: 가상가치측정법에 의한 외국인 유학생의 시장가치 측정. Measuring the market value of the foreign students by the Contingent Valuation Method in Korea. IOM MRTC Working Paper Series. IOM 이민정책연구원 워킹페이퍼 시리즈. No. 2011-10.
- 권오상. (2011). *환경 경제학 (제 2판)*. 서울, 박영사.
- 김대수, 손원익, & 황인창. (2016). 공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안 - The Implications of Co-Benefits for Forest Carbon Offsetting in Korea. *環境政策*, 24(4), 1-23.
- 김명은. (2013). 산림탄소고정 서비스 공급에 따른 산주의 기회비용. 서울대학교 대학원.
- 김선주, 김효곤, & 김재태. (2012). 토지 실거래가격 결정요인에 관한 연구:

- 충남 당진을 중심으로. 주거환경, 10(2), 33-47.
- 김소원, 손영모, 김은숙, & 박현. (2014). 임상도 특성에 따른 임목축적 및 탄소저장량 추정: 강원도를 중심으로. J. Korean For. Soc. Vol, 103(3), 446-452.
- 김여라, 이해춘, 유진호. (2007). 가상가치접근법(CVM)을 이용한 개인정보보호의 가치 산출 방법론 고찰. 한국정보보호진흥원. Issue Report 2007-02.
- 김영환, & 배재수. (2017). 산림탄소상쇄사업의 최근 동향 및 전망. 서울 : 국립산림과학원.
- 김영환, 김래현, 배재수, 전어진, 송민경, 김호정. (2013). 사회공헌형 산림탄소상쇄 사업설계 가이드라인. 제 1권: 산림탄소상쇄 일반. 국립산림과학원.
- 김영환, 배재수, 송민경, & 설미현. (2016). 산림탄소상쇄제도 활성화 방안 연구. 서울 : 국립산림과학원.
- 김영환. (2014). 국제 산림탄소배출상쇄권 거래 동향 및 국내 산림탄소상쇄제도 운영 현황. 산림정책이슈, 제30호. 서울: 국립산림과학원.
- 김영환. (2016). 산림탄소흡수량 정부구매를 위한 산림탄소상쇄 사업의 평균 저감비용 분석 - Analysis of the Average Abatement Cost of Forest Carbon Offset Projects for the Government Purchase of Forest Carbon Credits. 한국기후변화학회지, 7(4), 391-396.
- 김영환. (2018). 산림탄소상쇄제도 운영 현황 및 산림탄소배출상쇄권 거래 전망. 2018 산림임업전망 “산림, 임업, 산촌, 도전과 희망” 제 13 편. 239-252.
- 김종윤, 정도현. (1998). 임도망계획법 - Planning of forest road network. 국립산림과학원.
- 남궁근. (2010). 행정조사방법론. 서울: 법문사, 355.
- 류시균. (2008). 로짓모형에 있어서 다중공선성의 영향에 관한 연구. 대한교통학회지, 26, 113-126.
- 민경택. (2017). 산림경영의 수익성 개선을 위한 정책과제. 한국농촌경제연구원.
- 박소희, 김민경, & 윤여창. (2019). 산촌주민의 야생동물 피해 대응 전략: 구

- 례군 6 개 마을 사례를 중심으로. 환경정책, 27(2), 11-37.
- 박진택, 조용성, & 장진구. (2016). 산림탄소상쇄 사업계획서를 이용한 산림탄소 배출권 분석 - Analysis of Forestry Carbon Offset Credits Using Project Design Documents. 한국기후변화학회지, 7(2), 185-191.
- 배재수, 김영환, & 한기주. (2013). 제14장 산림탄소시장의 동향과 산림경영의 새로운 기회. 한국농촌경제연구원 기타연구보고서, 523-557.
- 배재수, 설아라. (2019). 산림흡수원의 국가온실가스감축목표(NDC)기여와 산림경영의 새로운 기회. 2019 산림임업전망. 제 5편. 141-166.
- 산림청 (2017a). 산림탄소상쇄제도 운영 개선방안. 산림정책과.
- 산림청 (2017b) ‘산림산업’ 및 ‘산림복지’ 를 포괄하는 ‘산림의 총경제적 편익’ 분석. (사)한국행정학회.
- 산림청 (2018). 제2차 탄소흡수원 증진 종합계획 [2018-2022].
- 산림청 (2019). 2018 전국 산주 현황. 승인번호 제 136035호.
- 서병수, 이상현, 강학모. (1999). 부재 산주 소유 산림의 경영실태에 관한 연구 - 전라북도 지역을 중심으로. 산림경제연구, 7(2), 19-31.
- 손영모, 이광수, 유병오, & 표정기. (2013). 남부지방 해송의 지위지수 추정. 농업생명과학연구, 47(6), 119-126.
- 송혜인, 배향은, & 이용용. (2014). CVM을 이용한 개인정보의 경제적 가치 분석 연구. INTERNET & SECURITY FOCUS 2. 2014.
- 신승욱. (2017). 산주의 산림탄소상쇄사업에 대한 투자 의향: 금산군 사례를 중심으로(서울대학교 대학원).
- 신영철. (1998). 이중 양분선택형 질문 CV 자료에서의 정박효과 검토. Environmental and Resource Economics Review, 8(1), 51-73.
- 오세준, 양영준, & 유선종. (2015). 오피스 소유주체의 업종특성이 임대료에 미치는 영향. 부동산학보, 62, 121-133.
- 오창영, 한심희, 이재천, 이위영, 서동진. (2014). 기후변화 적응과 탄소흡수 증진 그리고 수종 육성. 연구보고 제 14-26호. 국립산림과학원.
- 이동호, 김동환, & 김성일. (2015). 국내· 외 자발적 탄소시장의 산림탄소사업 투자 및 수익배분 특성 연구. 환경정책, 23(4), 1-27.
- 이동호. (2019). 산림탄소배출권 시장 특성에 관한 연구 (Doctoral

- dissertation, 서울대학교 대학원).
- 이상태, 이영근, 정상훈, 정도현, 오재현, 조구현, 문호성, 최윤성, 서경원, 이광수, 정수영, 박준형, 서연옥, 김영환, 임종수, 성주한. (2019). 탄소 흡수 증진을 위한 숲가꾸기 기술 개발. 국리반림과학원. 연구보고 제 19-14호.
- 이승은. (2010). 산림을 이용한 탄소상쇄 프로그램의 해외 사례 고찰 - Study on Forestry-Based Carbon Offset Programs. 한국기후변화학회지, 1(2), 97-107.
- 이윤석, 이지영, & 이경택. (2008). 온라인조사의 응답오차에 대한 연구: 설문 응답 시간과 응답 성실성의 관계. 조사연구, 9(2), 51-83.
- 이준구. (2015). 미시경제학 (6 판). 문우사.
- 이진석. (2013). 사회적 네트워크 형성요인이 개인의 단체참여에 미치는 영향. 통계연구. 제 18권 제 2호. 16-41.
- 임업진흥원. (2018). 2018 한국임업진흥원 지속가능임업보고서. 지속가능임업, 숲에서 길을 찾다. 한국임업진흥원
- 정형식. (2017). 보호지역 지정의 기회비용 연구: 육상 생태계를 중심으로 (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).
- 조용혁. (1981). 협업경영에 대한 산주태도와 사회경제적변수. 한국임학회지, 53(0), 56-61.
- 조장환, 구자춘, & 윤여창. (2011). 북한 산림전용 방지수단으로서의 REDD 사업의 경제적 타당성 분석 - Economic Feasibility of REDD Project for Preventing Deforestation in North Korea. 한국산림과학회지, 100(4), 630-638.
- 채구묵. (2015). 사회과학 통계분석 (제 4판). 양서원
- 한기주, & 윤여창. (2007). 논문 : 북한 지역을 대상으로 한 조림 CDM 사업의 경제적 타당성 연구 - Article : An Economic Feasibility Study of AR CDM project in North Korea. 한국산림과학회지, 96(3), 235-244.
- 한기주, & 윤여창. (2009). The feasibility of carbon incentives to private forest management in Korea. Climatic change, 94(1-2), 157-168.
- 한기주, & 윤여창. (2009). 해외 배출권 시장 사례 분석과 국내 배출권 시장

- 도입에 있어서 산림분야 참여에 관한 고찰 - Integrating Forestry Offsets into a Domestic Emission Trading Scheme in Korea. 환경정책연구, 8(1), 1-30.
- 한희, 배재수, 김영환, 신중훈 (2020). 산림탄소시장의 동향과 전망. 2020 산림임업전망. 제 14편. 339-356.
- 한희, 배재수, 김영환, 유동훈. (2019). 산림탄소시장의 동향과 전망: 산림탄소배출상쇄권 사업 참여에 따른 수익성 예측을 중심으로. 2019 산림임업전망. 제 14편. 359-382.
- 환경부. (2007) 전국 생태·자연도 고시(환경부고시 제 2007-68호, 2007. 4. 11.)
- 황동열, 백민석, & 이상엽. (2013). 공장용지의 가격형성요인에 대한 연구. 부동산학보, 52, 31-44.

부록 1. 설문지

설문지 코드 00-00,000

산림탄소상쇄사업의 확장 가능성 조사

안녕하십니까? 저는 서울대학교 산림과학부 생태경제학연구실 대학원생 박민영입니다. 저희 서울대학교에서는 산림청의 지원을 받아 탄소흡수원관리 특성화 대학원으로 지정되었습니다. 탄소흡수원관리 특성화 대학원에서는 산림탄소상쇄사업의 활성화를 위해 사업에 참여하고 있는 산주들을 대상으로 산림탄소상쇄제도 활성화를 위한 기반 연구를 진행하고 있습니다. 본 조사의 목적은 산림탄소상쇄사업이 자발적 시장에서 규제시장으로 전환될 수 있는 요건을 충족할 때, 산림탄소상쇄사업을 참여하고 있는 산주가 산림탄소상쇄사업을 더 확장하려고 한다면 수용할 수 있는 금액은 어떻게 되는지, 산주가 확장하려는 요인이 무엇인지 조사하는 것입니다. 본 연구를 통해 산주가 확장 의사에 영향을 주는 요인을 찾는다면 산림탄소상쇄사업에 참여하고 있는 산주 분들의 입장을 반영하여 그 조건에 맞는 산림탄소상쇄사업의 활성화 방안을 모색하고자 하오니 귀하의 귀중한 시간을 잠시만 내주시면 감사하겠습니다.

(소요시간 약 10분)

본 설문내용은 조사 이외에 어떠한 용도로도 사용되지 않을 것이며 응답은 철저히 비밀로 보장됨을 약속드립니다. 도와주셔서 진심으로 감사드립니다.

소속: 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 산림환경학전공 생태경제학 연구실

(내선번호: 02-000-0000, 연구실 홈페이지: <http://calslab.snu.ac.kr/eelab/>)

조사자: 박민영 석사과정 학생(0000000@snu.ac.kr, 010-0000-0000)

지도교수: 서울대학교 산림과학부 산림환경학 전공 윤여창 교수(0000@snu.ac.kr)

1. 산주 및 자원 특성

1-1. 귀하께서는 사업대상지와 행정구역상 같은 지역(시)에 거주하고 계십니까? ① 네 ② 아니요

1-2. 산림탄소상쇄사업을 하는 임야를 포함해서 산주분이 가지고 계신 임야는 전체 몇 ha입니까?

()ha

1-2-1. 산림탄소상쇄사업의 대상지 전체 면적은 몇 ha(혹은 평)입니까? 등록

하신 산림탄소상쇄사업수가 하나 이상이면 각각 작성해 주십시오(ha의 단위를 잘 모르시겠다면 평수로 적어주십시오).

① ()ha ② ()ha ③ ()ha

2. 산림탄소상쇄사업의 가치에 대한 인식

2-1. 산림탄소상쇄사업으로 발생할 수 있는 수익(금전적 가치)과 산림탄소상쇄사업으로 발생할 수 있는 환경 개선(비금전적 가치) 중 어느 것을 더 중요하게 생각하십니까?

① 수익 ② 환경개선

2-2. 산림의 기후변화 조절 기능에 대해서 얼마나 중요하다고 생각하십니까?

←전혀 중요하지 않음

매우 중요함→

1	2	3	4	5

3. 산림탄소상쇄사업의 비용

아래의 표는 산림탄소상쇄사업에 투입되는 비용의 틀입니다.

3-1. 산림탄소상쇄사업을 시행하시면서 **국가에서 보조해 주는 금액 이외에 추가적으로 투입되었던 비용**이 있다면 어떤 것이 있으셨습니까? 투입비용에 기입해 주십시오. 기타 추가적으로 투입되는 비용이 있다면 적어주십시오.

비용 구분	세목	ha당 1년에 투입되는 비용(원/ha/yr)
사업비용	풀베기	
	가지치기	
	숙아베기(간벌)	
행정비용	사업계획서 비용	
	검증보고서 비용	
기타 비용		

4. 수용의사금액

『탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 시행령』

제 19조(산림탄소흡수량의 유효기간 등)

1항 법 제 22조 제 1항에 따른 산림탄소흡수량의 유효기간은 30년 이하로 한다.

2항 제 1항에도 불구하고 다음 각 호의 요건에 모두 해당하는 경우에는 1회당 20년 범위에서 총 2회까지 유효기간을 연장할 수 있다.

1호. 유효기간이 20년 이하로 정하여져 졌을 것

2호. 산림탄소상쇄사업이 계속 진행 중이거나 그 사업으로 인한 탄소흡수기능이 유지되고 있을 것

<개정 2017. 9. 19>

자발적 산림탄소배출상쇄권이 규제시장에서 거래되는 조건의 사례(미국의 CRT 배출권):
사업 기간이 길다.

미국의 Climate Action Reserve 프로그램은 정부가 주도하는 사업으로 CRT(Climate Reserve Tonnes)배출권을 발행하고 사업 기간을 100년으로 설정하였다. 현실을 완벽하게 반영한 산림 사업 시나리오에 의해 정확한 잠재적 결과를 기술하기 어렵기 때문에 산림탄소 축적이 베이스라인보다 유지 혹은 증가가 보장되도록 하는 사업 활동 기간을 100년으로 설정하였다. 이는 사업의 수행절차에 따라 수행되는 모든 보고와 검증이 100년 동안 지속되며 사업 시작일 부터 100년 간 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이 기준에 의해서 서부 기후 이니셔티브(WCI)에서는 캘리포니아(미국), 퀘벡(캐나다), 온타리오주(캐나다)가 배출권 거래제(ETS)와 연계하여 규제시장에서 산림탄소상쇄사업을 시행하고 있다. 하지만 현재 한국 내에서 자발적 탄소시장에서 운영되는 산림탄소 사업이 규제시장에서 거래가 어려운 가장 큰 이유는 탄소흡수원법 시행령 22조 5항에 따라 산림청의 감축실적형 산림탄소상쇄는 환경부의 외부사업 승인 및 온실가스 감축량 인증을 받아야 하기 때문이다.

본 설문에서 산림탄소배출상쇄권의 유효기간(사업 기간)을 『탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 시행령』에 따른 19조에 2항에 따라 최장기간 연장 했을 때와 같이 60년으로 가정합니다.

Forest Project Protocol, FPP V5.0(Climate Action Reserve: CAR) 2019

『주요 산림수종의 표준 탄소흡수량』(2012)에 따르면 30년생 기준으로 우리나라 산림 1ha는 평균 연간 약 10.4tCO₂/ha/yr를 흡수하는 것으로 나타났습니다. 이는 1년에 ha당 156,000원의 소득을 올릴 수 있는 것과 같습니다. 산림탄소배출상쇄권의 초기 기준 가격을 톤당 15,000원이라고 가정합니다. 참고로 산림청은 산림탄소상쇄사업 산림경영 사업으로 발생한 산림탄소흡수량 구매가격을 15,000원으로 책정함

각 질문 뒤 괄호 속 안내에 따라 다음 답변을 이어나가 주시면 됩니다. 아래 4번부터 4-2-BA)까지의 질문에 대해서 다섯 번의 답변을 하셨다면 성공적으로 답변을 하신 것입니다.

※ 괄호 속 안내를 잘 따라가 주시기 바랍니다.

4. 산림탄소상쇄사업을 통해 발생한 탄소배출권 (15,000원/tCO₂)의 가격 수준에서 거래할 수 있게 하면서 산림탄소상쇄사업 사업 기간을 60년으로 개정했다고 가정합니다. 산림탄소배출상쇄권으로 1년에 ha당 156,000원/ha/yr의 이익을 올릴 수 있다면, 산림탄소상쇄사업 참여를 지속하실 수 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’ 면 4-1)로, ‘아니오’ 면 4-2)로 가십시오)

4-1) 1년에 ha당 수익 78,000원(산림탄소배출상쇄권 7,500원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’ 면 4-1-A)로, ‘아니오’ 면 4-1-B)로 가십시오)

4-1-A) 1년에 ha당 수익 62,400원(산림탄소배출상쇄권 6,000원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’ 면 4-1-AA)로, ‘아니오’ 면 4-1-AB)로 가십시오)

4-1-AA) 1년에 ha당 수익 49,920원(산림탄소배출상쇄권 4,800원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’ 면 4-1-AAA)로, ‘아니오’ 면 4-1-AAB)로 가십시오)

4-1-AAA) 1년에 ha당 수익 40,560원(산림탄소배출상쇄권 3,900원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-1-AAB) 1년에 ha당 수익 74,880원(산림탄소배출상쇄권 7,200원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-1-AB) 1년에 ha당 수익 93,600원(산림탄소배출상쇄권 9,000원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’ 면 4-1-AAB)질문에, ‘아니오’ 면 4-1-ABA)로 가십시오)

4-1-ABA) 1년에 ha당 수익 140,400원(산림탄소배출상쇄권 13,500원 기준)을 수용할

의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-1-ABB) 1년에 ha당 수익 263,120원(산림탄소배출상쇄권 25,300원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-1-B) 1년에 ha당 수익 117,000원(산림탄소배출상쇄권 11,250원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-1-AB)로, ‘아니오’면 4-1-BA)로 가십시오)

4-1-BA) 1년에 ha당 수익 175,760원(산림탄소배출상쇄권 16,900원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-1-ABA)로, ‘아니오’면 4-1-ABB)로 가십시오)

4-2) 1년에 ha당 수익 234,000원(산림탄소배출상쇄권 22,500원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-2-A)로, ‘아니오’면 4-2-B)로 가십시오)

4-2-A) 1년에 ha당 수익 187,200원(산림탄소배출상쇄권 18,000원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-2-AA)로, ‘아니오’면 4-2-AB)로 가십시오)

4-2-AA) 1년에 ha당 수익 149,760원(산림탄소배출상쇄권 14,400원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-2-AAA)로, ‘아니오’면 4-2-AAB)로 가십시오)

4-2-AAA) 1년에 ha당 수익 119,600원(산림탄소배출상쇄권 11,500원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-2-AAB) 1년에 ha당 수익 224,640원(산림탄소배출상쇄권 21,600원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (이 질문이 끝나면 4-3)으로 가십시오)

4-2-AB) 1년에 ha당 수익 280,800원(산림탄소배출상쇄권 27,000원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ①예 ②아니요 (‘예’면 4-2-AAB)로, ‘아니오’면 4-3)으로 가십시오)

4-2-B) 1년에 ha당 수익 351,000원(산림탄소배출상쇄권 33,750원 기준)을 수용할 의사가 있으십니까? ① 예 ② 아니요 (‘예’ 면 4-2-AB)로, ‘아니요’ 면 4-3)으로 가십시오)

4-3). 가장 마지막에 답하신 문항의 수익만큼을 창출할 수 있다면, 귀하께서 소유하고 있는 임지를 추가적으로 등록할 의향이 있으십니까? ① 예 ② 아니요 (‘예’ 면 4-3-1)로, ‘아니요’ 면 추가정보로 가십시오)

4-3-1). 등록하신다면 추가적으로 얼마나 등록하시겠습니까? ()ha

추가 정보

1. 귀하의 성별은 어떻게 되십니까? 1. 남자 () 2. 여자 ()
2. 귀하의 연령은 어떻게 되십니까? ()세
3. 귀하께서는 교육을 어디까지 받으셨습니까?
① 초등학교 졸 ② 중학교 졸 ③ 고등학교 졸 ④ 대학교 졸 ⑤ 대학원 이상
4. 귀하가 속하신 가구의 연 평균 소득은 얼마정도입니까?
① 1,500만 원 이하 ② 1,500만 원~3,000만 원 ③ 3,000만 원~ 4,500만 원 ④ 4,500만 원~ 6,000만 원 ⑤ 6,000만 원 이상
5. 산림탄소협회 가입 여부
① 예 ② 아니요
6. 산림청에서 주관한 설명회에 참석하신 적이 있으십니까?
① 예 ② 아니요
7. 독립가 협회 가입 여부
① 예 ② 아니요

8. 산림탄소배출상쇄권 거래 현황을 인지하고 계십니까?

① 예 ()원 ② 아니요

9. 배출권 거래소 거래가격 현황을 인지하고 계십니까?

① 예 ② 아니요

10. 산림탄소배출상쇄권 가격을 인지하고 계십니까?

① 예 ()원 ② 아니요

11. 산림탄소상쇄사업은 어떻게 참여하게 되셨습니까?

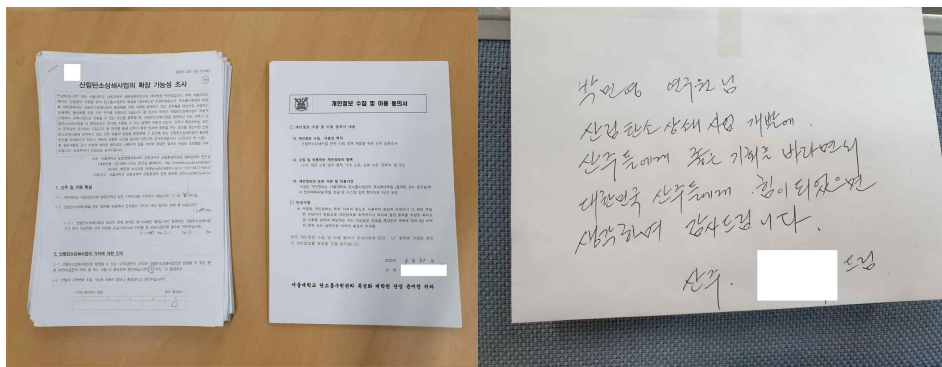
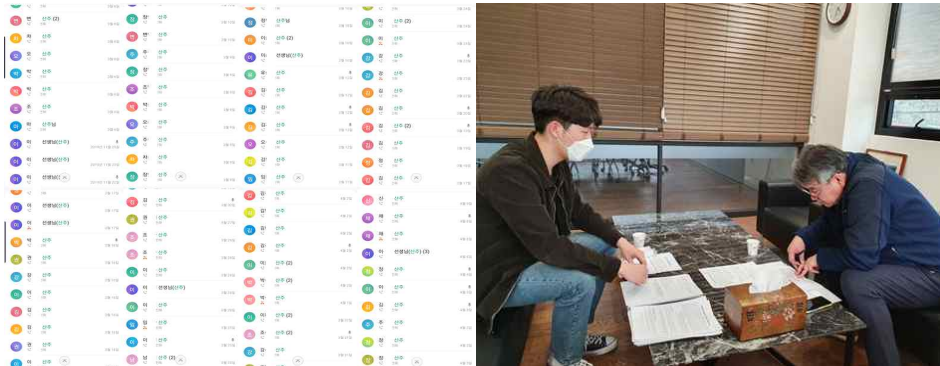
① 자발적 ② 권유 경로: ()

12. 산림청으로부터 얻는 정보에 대한 신뢰 정도는 100점 만점에 몇 점 정도 주실 수 있으십니까? ()

고생 많으셨습니다. 설문에 참여해주셔서 진심으로 감사드립니다!
궁금한 점이나 의문이 가시는 부분이 있으시면 서울대학교 산림과학부 생태경제학
연구실 박민영 연구원 연락처(010-0000-0000)로 연락 주시면 친절하게 답변
드리겠습니다.

※추가적으로 문의드릴 것이 있으면 전화 드리겠습니다.
협조 부탁드립니다. 감사합니다.

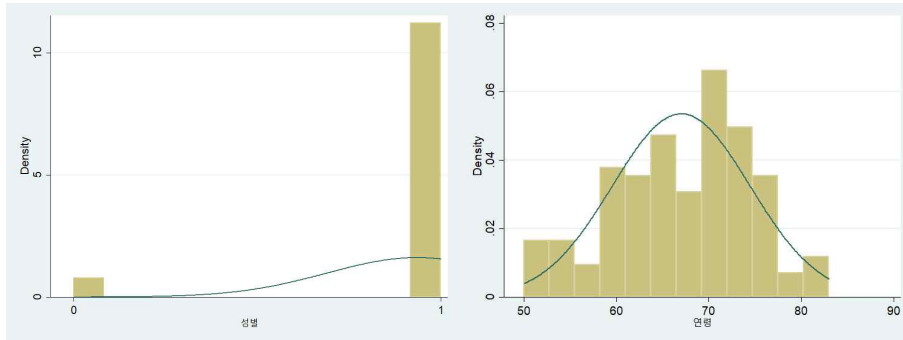
부록 2. 산주 방문 및 설문조사 준비 과정



설문지 발송 → 전화/대면 설문 → 설문지 회수

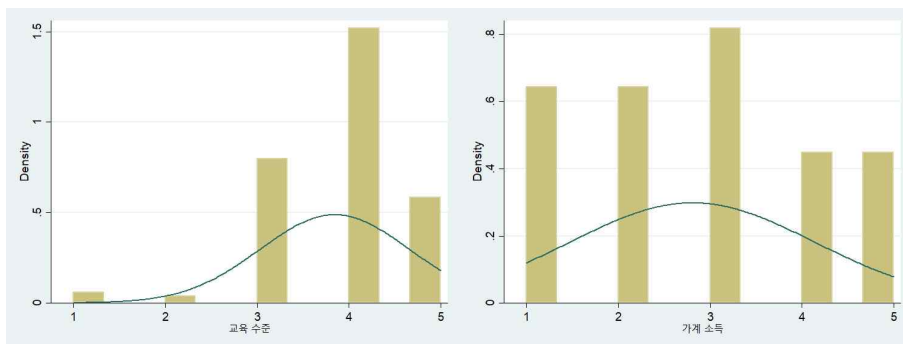
부록 3. 조사 결과

부록 3-1. 표본의 인구통계학적 특성



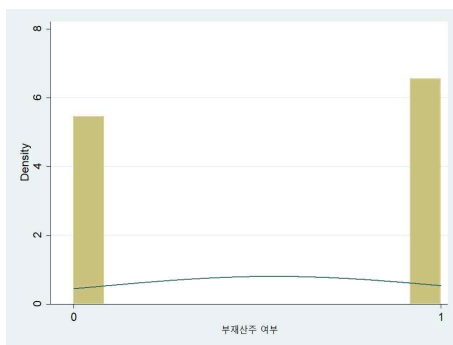
부록 3-1-1. 성별 분포

부록 3-1-2. 연령 분포



부록 3-1-3. 교육 수준 분포

부록 3-1-4. 연평균 가계 소득 분포

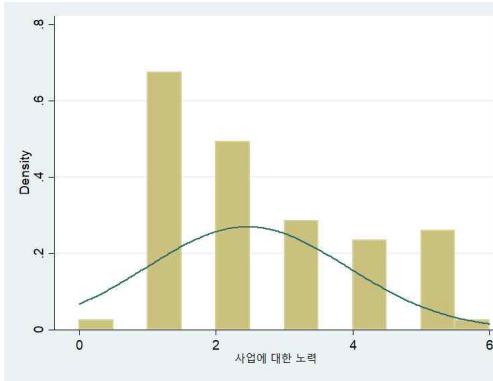


부록 3-1-5. 부재 산주 여부 분포

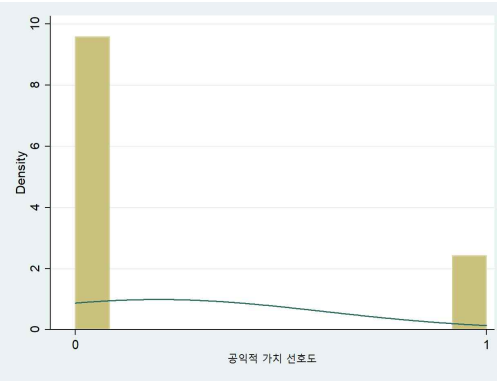
부록 3-2 사업에 대한 노력

사업 번호	산림탄소 협회가입 유무	설명회 참여경험	거래 현황	배출권가 격 인지 여부	산림탄소배출 상쇄권가격 인지 여부	자발적 참여 여부	합계
85	1	1	0	1	0	0	3
86	1	1	1	0	0	0	3
115	0	1	0	0	0	1	2
140	0	1	0	0	0	1	2
142	1	0	0	0	0	0	1
144	0	1	0	0	0	1	2
150	0	0	1	0	0	0	1
153	0	0	1	0	0	0	1
169	1	1	1	1	0	1	5
170	1	0	1	0	0	1	3
171	0	1	1	0	0	0	2
172	0	1	1	0	0	0	2
173	0	0	0	0	0	1	1
174	1	1	0	1	1	0	4
177	1	1	0	1	0	0	3
180	0	0	1	0	0	0	1
181	0	0	1	0	0	0	1
183	1	1	1	1	1	1	6
185	1	1	0	1	0	1	4
186	1	1	0	1	0	1	4
187	0	0	0	0	0	0	0
193	1	1	1	0	0	1	4
197	1	1	0	0	0	0	2
198	0	1	0	0	0	1	2
237	0	0	0	0	0	1	1
239	1	0	1	0	0	0	2
240	1	1	1	0	0	1	4
243	0	0	0	0	0	1	1
244	1	1	1	0	1	1	5
245	1	0	0	0	0	0	1
246	1	1	1	1	0	1	5
247	1	1	1	0	0	0	3
248	1	0	1	1	1	1	5
249	1	0	0	0	0	0	1
251	1	0	1	1	1	1	5
252	1	0	0	0	0	0	1

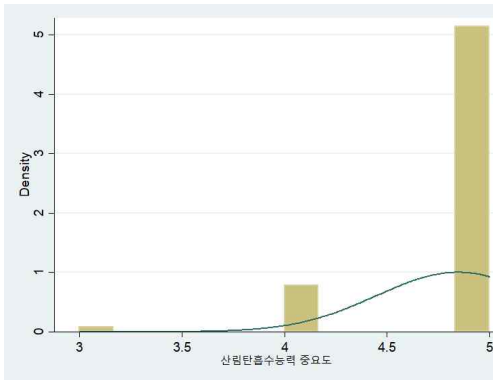
부록 3-3. 표본의 산주 특성



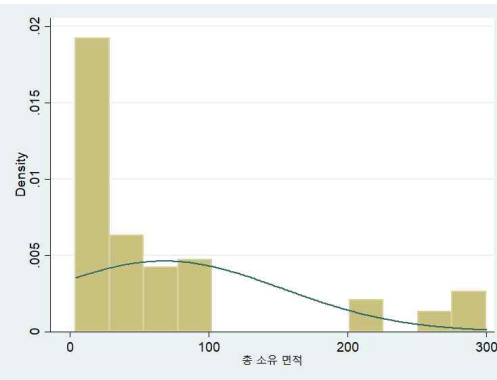
부록 3-3-1. 사업에 대한 노력 분포



부록 3-3-2. 공익적 가치 선호도 분포

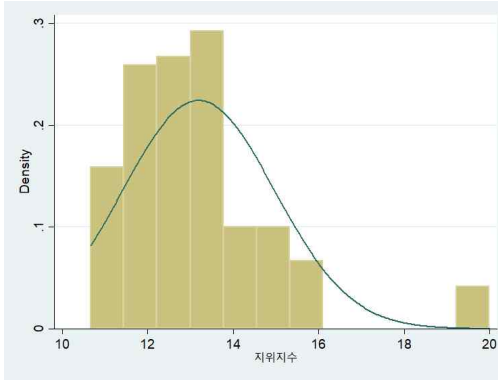


부록 3-3-3. 산림탄소흡수능력 중요도 분포

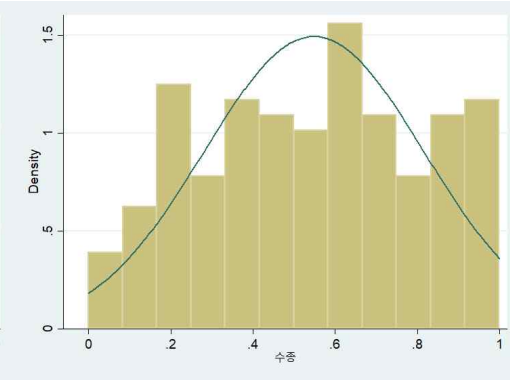


부록 3-3-4. 총 소유 면적 분포

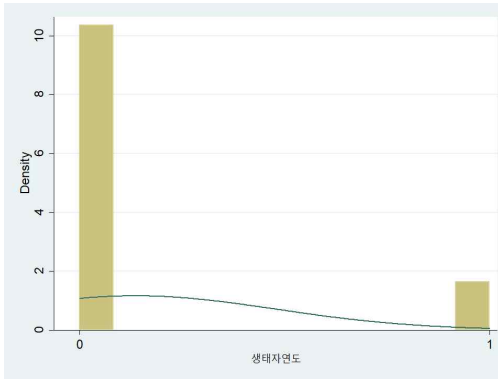
부록 3-4. 표본의 사업대상지 특성



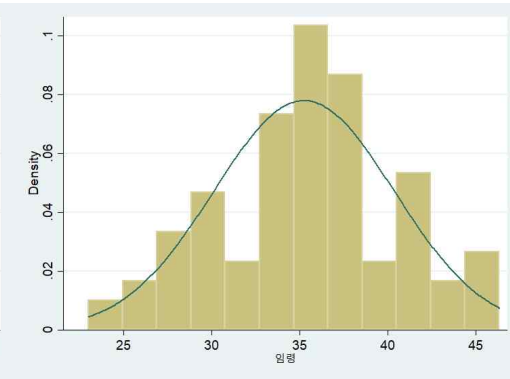
부록 3-4-1. 지위지수 분포



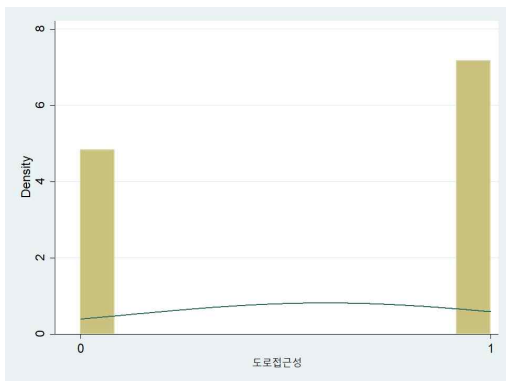
부록 3-4-2. 수중 분포



부록 3-4-3. 생태자연도 분포

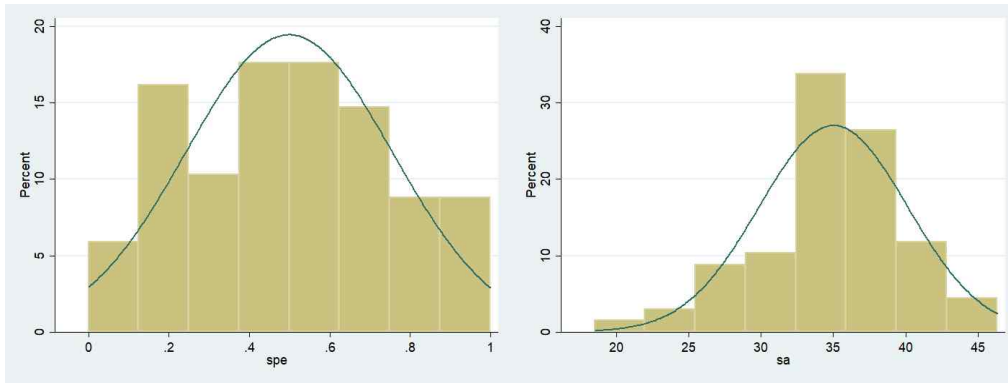


부록 3-4-4. 면적 분포



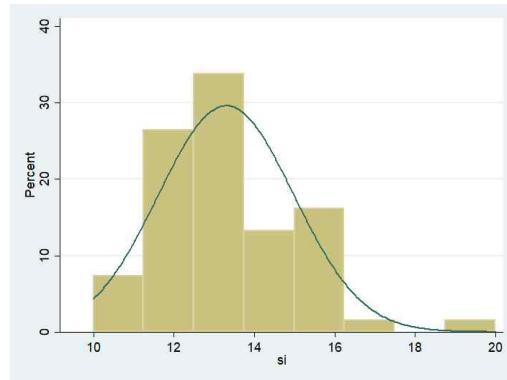
부록 3-4-5. 도로 접근성 분포

부록 3-5. 모집단의 사업대상지 특성



부록 3-5-1 모집단의 수증 분포

부록 3-5-2. 모집단의 임령 분포

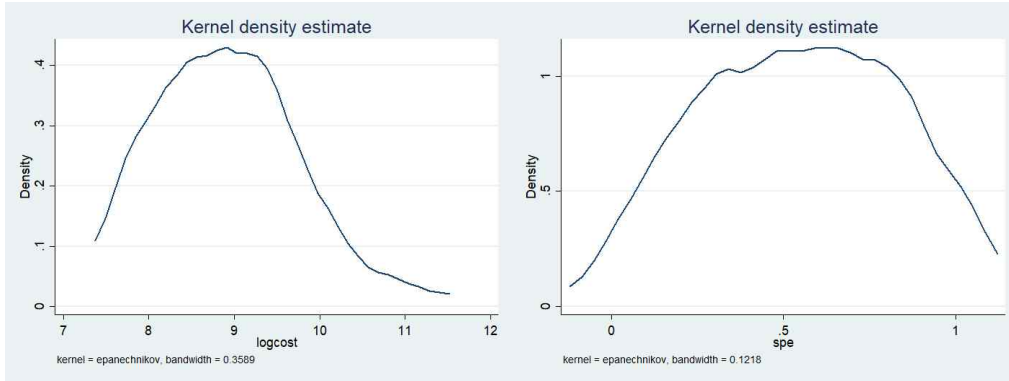


부록 3-5-3. 모집단의 지위지수 분포

부록 3-6. 산림탄소 흡수량과 총비용

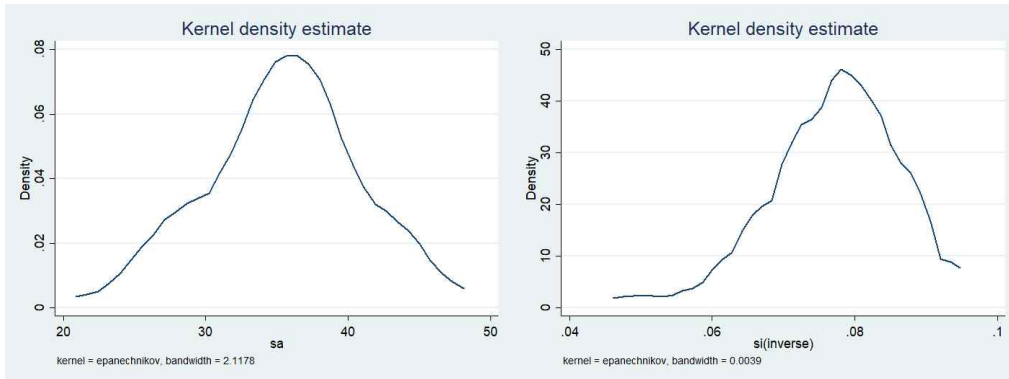
	60년		100년	
	흡수량(tCO_2/ly)	단위당 생산비용(원/ tCO_2)	흡수량(tCO_2/ly)	단위당 생산비용(원/ tCO_2)
85	4,390.36	3,041.96	4,390.36	6,899.66
86	71.45	18,481.68	144.72	40,867.94
115	58.50	26,497.08	58.50	64,052.48
140	314.82	6,752.24	603.10	16,247.84
142	133.29	9,855.47	163.68	30,246.32
144	85.17	14,272.94	117.69	38,463.00
150	62.54	18,297.07	63.80	41,337.11
153	141.21	8,799.42	153.76	27,650.20
169	963.59	2,530.48	963.59	7,622.59
170	135.47	9,289.25	190.97	23,890.71
171	67.34	17,733.19	79.79	25,413.79
172	348.66	6,122.19	348.66	11,946.16
173	444.02	3,770.90	503.90	5,120.80
174	1,202.52	2,966.77	1,202.52	8,018.18
177	4,207.15	2,575.00	4,280.77	4,658.18
180	138.27	12,068.66	227.45	20,067.67
181	302.70	9,002.49	388.53	13,122.23
183	101.74	13,005.63	162.68	28,206.69
185	1,309.05	2,617.91	1,366.32	3,698.22
186	112.29	9,612.24	112.29	34,906.72
187	188.61	6,890.86	251.15	16,569.48
193	619.61	4,533.05	687.88	7,226.59
197	70.92	15,747.39	104.01	41,598.02
198	788.88	2,286.71	1,121.79	7,280.71
237	226.67	7,392.12	325.32	14,813.58
239	230.15	8,066.26	266.38	12,614.84
240	517.51	4,320.64	517.51	7,520.93
243	410.86	3,805.27	415.27	8,996.72
244	16.78	70176.99	313.04	75,157.28
245	284.30	7,142.28	284.30	12,612.88
246	678.64	4,092.91	927.32	7,268.50
247	154.69	10,135.30	203.07	23,956.78
248	1,070.78	2,412.96	1,070.78	4,872.48
249	34.02	35,682.60	51.84	80698.04

부록 3-7. 다중선형회귀분석의 정규분포



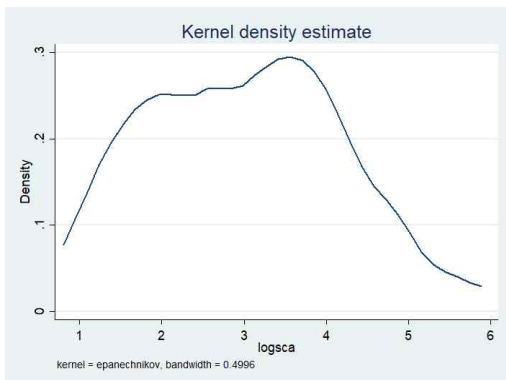
부록 3-7-1. 비용 정규분포-종속변수

부록 3-7-2. 수종 정규분포-독립변수



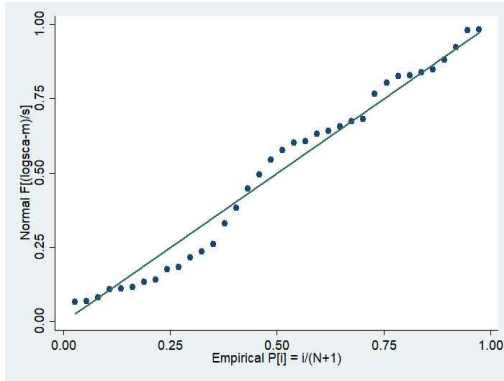
부록 3-7-3. 임령 정규분포-독립변수

부록 3-7-4. 지위지수 정규분포-독립변수

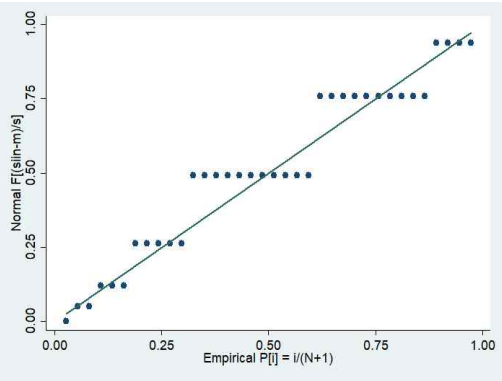


부록 3-7-5. 사업규모 정규분포-독립변수

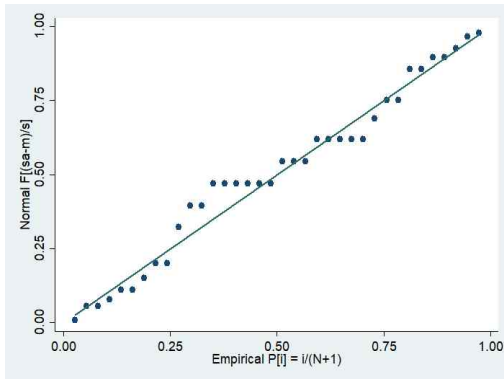
부록 3-8. 다중선형회귀분석의 선형성



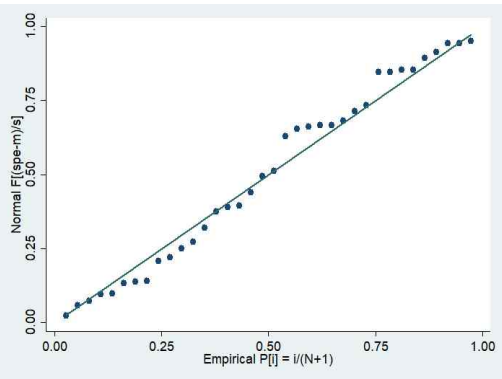
부록 3-8-1. 규모 선형성



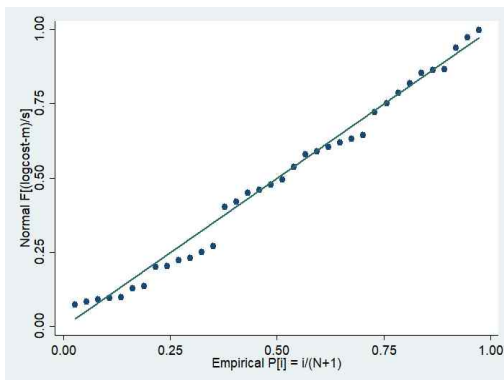
부록 3-8-2. 지위지수 선형성



부록 3-8-3. 임령 선형성



부록 3-8-4. 수종 선형성



부록 3-8-5. 비용 선형성

부록 3-9 제시된 수용의사금액 응답표

제시금액 (원/tCO ₂)	별기령 연장 사업			
	별기령 60년		별기령 100년	
	예	아니오	예	아니오
2,600	-	1	-	-
3,200	1	-	-	-
4,000	1	-	-	-
5,000	1	1	-	-
6,000	-	1	-	-
6,400	1	-	-	-
7,200	-	1	-	-
7,500	1	1	-	2
8,000	-	-	-	1
9,000	1	-	-	-
9,600	-	-	-	1
10,000	3	4	1	6
11,300	-	1	-	2
12,000	-	1	1	1
12,500	1	3	-	3
13,500	1	-	-	2
14,400	-	-	-	1
15,000	2	7	3	7
16,900	1	-	2	-
18,000	-	3	1	2
18,750	1	2	1	2
19,200	-	1	-	-
20,000	2	2	3	3
21,600	-	1	-	-
22,500	4	5	3	6
24,000	1	-	-	2
25,000	4	2	3	2
27,000	2	-	1	-
28,125	2	-	2	-
28,800	1	-	-	1
30,000	1	1	1	3
33,800	3	1	3	1
36,000	-	-	2	1
37,500	-	2	2	-
소계	35	41	29	49
총계	76		78	

Abstract

Factors Affecting Private Forest Owners' Intention of Participating in Forest Carbon Offset Project

-A Case of Forest Carbon Offset Type of Extended Rotation Forest Management

Park, Min-Young

Department of Forest Science

The Graduate School

Seoul National University

Considering that forests account for 67% of the territory in Korea, private forest owners' participation in carbon offset projects is crucial. This study identifies the factors to lower the production cost of forest carbon offset per unit. It derives the willingness to accept(WTA) of private forest owners participating in forest carbon offset projects. And It identifies characteristics with high participation potential. The study finds that species of trees and the size of a project area affect the issue cost. It also finds the higher the proportion of broadleaf tree is and the wider the size of the project area is, the lower the issue cost is. Meanwhile, the WTA of the private forest owner ranges from 17,039 to 23,070 KRW/ tCO_2 , depending on the duration of the projects. The higher the value for WTA

is, the more they are willing to participate in the project. The probability of participation in the projects increases according to the 1 KRW/ tCO_2 amount of WTA, the preference for the public value of the forest, the high education level. Therefore, the followings findings are proposed to expand the participation and supply of the offset carbon offset projects in the private forests. First, policy-based support is required for the opportunity borne by the private forest owners providing the forest carbon offset credits. Second, support for promoting the public interest and awareness of the forests is necessary. Third, the policy should target the private forest owners with high education level first.

keywords : Forest Carbon Offset, WTA, Private Forest Owner, Multiple Linear Regression, Logistic Regression

Student Number : 2018-24457

감사의 글

처음 석사과정을 하는 동안 연구자로서 근본적으로 가져야 하는 자세에 대한 깨달음부터 학위 논문의 설문 조사 설계 및 연구 고찰 부분까지 지도해 주신 윤여창 교수님께 진심 어린 감사의 말씀을 드립니다. 바쁘신데도 불구하고 심사 위원으로서 많은 의견과 개선 방안에 대해 고민해 주신 이동근 교수님과 구자춘 박사님께도 감사드립니다.

공부하는 과정에서 많은 도움을 주시고 연구실 생활에 잘 적응할 수 있도록 도와주신 김민정 박사님, Khaing 박사님, 소희 누나, 은경 누나, 준호 형을 포함한 모든 연구실원 및 선후배님들께 감사드립니다.

코로나19로 인해 직접 방문을 하지 못하고 우편 및 전화로 설문조사를 진행하면서 어려운 부분이 많았지만 제 상황을 이해해 주시고 적극적으로 참여해 주신 산주분들께 감사드립니다. 설문조사를 진행하는 데 많은 도움을 주시고 많은 질문에 성실히 답변해 주신 임업진흥원 관계자분들께도 감사드립니다.

이 연구는 “산림청 탄소흡수원 특성화 대학원 지원 사업 (과제번호: 500-20190089)” 의 지원을 받아 수행되었습니다.

마지막으로 제가 사랑하는 가족, 대학원 생활에 활력을 불어넣어 준 새턴 선후배님들과 태준, 성구에게 고맙다는 말을 전합니다.