

# 산림분야 외부감축사업에 따른 흡수 잠재량 평가에 대한 연구

최종화 · 주선호 · 정순철 · 장광민<sup>†</sup>  
에코네트웍(주) 기후변화사업본부

## A Study on the Estimation of the Absorption Potential According to the External Reduction Project in the Forest Sector

Jonghwa Choi · Sunho Joo · Soonchul Jung · Kwangmin Jang  
Econetwork Inc. jhchoi@econetwork.com

### 요 약

온실가스 배출권을 거래하는 제도를 도입함으로써 효과적으로 국가의 온실가스 감축목표를 달성하고자 법률을 제정하고 배출권거래제 상쇄제도를 운영해오고 있다. 산림청은 산림의 탄소흡수효과를 증진시키기 위해 산림탄소상쇄제도를 운영하고 있다. 본 연구에서는 산림탄소상쇄제도에 있는 방법론을 이용하여 배출권거래제 상쇄제도의 사업대상지에 접목시켜 잠재적 탄소 흡수량을 평가한 후 경제성 분석을 통해 사업대상지의 잠재력을 평가하고자 한다. 연구결과 본 연구 대상의 연간 이산화탄소 흡수량은 281,238 tCO<sub>2</sub>-eq으로 평가되었다. 경제성 분석결과 시나리오 2의 B/C값은 4.17, 순이익은 7,110 억원으로 가장 경제성이 높은 것으로 나타났다.

**ABSTRACT:** By introducing a system to trade greenhouse gas(GHG) emission rights, the government has enacted laws to effectively achieve the country's GHG reduction targets and has been operating a carbon offset system for emissions trading. The ministry of forest operates carbon offset schemes to improve the carbon uptake of forests. In this study, we evaluate the potential of carbon stocks by analyzing the potential carbon uptake by using the methodology in forest carbon offsets system.

**Key words:** Carbon offset, Absorption Potential, Forest management, Economic analysis, GIS

## 1. 서 론

### 1.1 연구목적 및 배경

환경부는 저탄소 녹색성장 기본법에 따라 온실가스 배출권을 거래하는 제도를 도입함으로써 시장기능을 활용하고, 효과적으로 국가의 온실가스 감축목표를 달성하고자 2013년부터 '온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(이하 배출권거래법)'을 제정하고 배출권거래제 상쇄제도를 운영해오고 있고, 산림청은 산림의 탄소흡수효과를 유지하고 증진시켜 국내 온실가스 감축에 기여하고자 2013년부터 '탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률(이하 탄소흡수원법)'을 제정하고 산림탄소상쇄제도를 운영해오고 있다. 그러나 2018년 9월 기준으로 산림탄소상쇄제도에 등록된 사업의 수는 총 196건에 불과하며 이를 통해 흡수되는 탄소의 양은 연간 약 15만 tCO<sub>2</sub>-eq에 불과하고, 상쇄등록부시스템에 등록된 산림부문 외부사업의 수는 총 3건에 불과하며 이를 통해 흡수되는 탄소의 양은 연간 약 242 tCO<sub>2</sub>-eq에 불과해 온실가스 감축에 기여한다는 제도의 목표를 달성하지는 못하고 있다. 이처럼 그동안 산림탄소상쇄사업의 실적이 부진했던 가장 큰 원인은 사업 참여자의

입장에서 산림탄소상쇄사업을 통해 기대할 수 있는 수익이 낮았기 때문이다.

관련하여 2016년 6월에 배출권거래법 시행령이 개정되면서 감축실적형 산림탄소상쇄사업의 경우 배출권거래제와 연계될 수 있게 된 점은 긍정적이라고 할 수 있으나, 사업 참여자 입장에서는 여전히 산림탄소상쇄사업을 통해 기대할 수 있는 수입이 실제로 사업에 참여하는 과정에서 소요되는 비용(산림 조림 건설비, 유지보수 비용 등)을 회수하고 나아가 수익을 창출하기에는 부족한 형편이다.

최근 기후변화에 관한 국제간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)을 비롯한 국제기구에서는 산림분야의 온실가스 감축사업과 관련하여 기후변화 적응과 생물다양성 증진 등 탄소흡수 이외의 부가적인 편익(공편익, co-benefit)에 대해서 강조하고 있다(IPCC, 2014). 또한 산림탄소상쇄사업과 관련한 국제표준 중 공편익을 고려 요소로 반영하는 경우가 나타나고 있으며, 미국 캘리포니아 주에서는 산림탄소상쇄사업과 대기오염정책의 연계 방안을 모색하고 있다(State of California Air Resources Board, 2015).

산림탄소등록부에 등록가능한 방법론은 신규조림/재조

<sup>†</sup> Corresponding author: 장광민 본부장 (13494) 경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660, 유스페이스1 602호Tel: 031-702-3300, Fax: 031-624-4737, Email: kmjang@econetwork.com

림, 산림경영, 목제품 이용, 산림바이오매스 에너지 이용, 산지전용 억제, 식생복구 총 6가지이다. 산림탄소등록부에 등록된 196건의 사업 중 86건(44%)에 해당하는 사업이 산림경영 방법론, 신규조림/재조림 방법론은 60건(31%), 식생복구 방법론이 42건(21%)이다. 이 중에서 연간 탄소흡수량은 산림경영 98%, 신규조림/재조림 0.8%, 식생복구 0.7%를 차지하는 것을 확인할 수 있다(산림탄소등록사업현황, 2018년 11월 기준).

그에 비해 배출권거래제 상쇄제도에 등록가능한 방법론은 신규조림/재조림, 목제품 이용, 식생복구 총 3가지이며, 상쇄등록부에 등록되어있는 외부사업은 총 20건이며, 그 중 산림 부문은 3건이다(상쇄등록부시스템 외부사업 현황 2018년 11월 기준).

2018년 11월 기준으로 한국거래소의 배출권거래 가격을 비교해보면 산림탄소등록부에 등록 후 인증 크레딧인 상쇄배출권 1톤당 가격은 21,800원, 배출권거래제 상쇄제도를 통해 얻어지는 인증 크레딧인 외부사업 인증실적 1톤당 가격은 25,000원으로 외부사업을 통한 배출권거래가 더 많은 사업적 이익을 가져올 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 산림부문 외부사업은 산림탄소상쇄제도와는 다르게 아직 많은 방법론이 개발되지 않았기 때문에 많은 양의 잠재적 탄소흡수원을 가지고 있지 않다.

위성영상은 전 지구에 걸쳐, 연속적인 관측이 이루어지고 대륙에서 대륙으로 광범위하게 이동하는 온실가스를 분석하는데 효과적일 뿐만 아니라 온실가스가 언제, 어디서, 얼마나 생성, 수송되고 흡수되는지를 분석할 수 있어 기존 온실가스 측정방식에 대한 시·공간적 제약을 극복할 수 있다. 또한 원격탐사자료와 GIS(Geographic Information System)를 활용한 다양한 공간객체의 결합은 온실가스 분포를 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 원격탐사와 GIS 기반의 평가 방식은 넓은 지역의 데이터 수집시간과 비용 측면에서 장점이 있으며, 지리적으로 접근이 곤란한 지역의 자료 수집이 가능하므로 온실가스 분포도를 기초 데이터로 활용하여 공간변수가 온실가스 농도 변화에 기여하는 정도에 대해 정량적인 분석을 가능하게 할 것이다.

본 연구는 전라남도를 대상으로 GIS를 통해 산림경영 방법론을 적용한 사업을 개시했을 때의 잠재적 탄소흡수량을 도출해보고 산림경영사업을 실행했을 때와 사업을 하지 않았을 때의 차이를 분석하여 이를 통해 산림경영 사업 방법론 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 연구방법

본 연구에서는 국내 산림탄소상쇄제도의 운영기준의 산림경영 사업방법론을 검토하였다. 또한 이 방법론을 토대로 우리나라 주요 수종에 대해서 벌기령 연장을 통한 산림

경영 사업 시나리오를 설정하여 이산화탄소 순흡수량을 분석하였다.

### 2.2 산림탄소상쇄제도의 벌기령 연장을 통한 사업 방법론

산림청은 국내 산림탄소상쇄제도의 운영을 위해 '사회공헌형 산림탄소상쇄 운영표준'(이하 운영표준)을 고시하였다. 운영표준에는 신규조림/재조림, 산림경영, 식생복구, 목제품 이용, 산림바이오매스 에너지 이용 등 전체 사업유형별로 베이스라인 흡수량 및 이산화탄소 순흡수량 산정을 위한 수식과 방법을 제시하고 있다. 특히 산림경영에 대해서는 산림갱신, 벌기령 연장, 택벌경영 등을 사업활동으로 고려하고 있다. 본 연구에서는 산림경영 사업의 수종갱신, 벌기령 연장, 택벌림 경영 중에서 벌기령 연장을 통한 산림경영사업 방법론을 사용하는 것으로 사업을 설계하였다. 숲가꾸기 사업체계는 '지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼'(National Institute of Forest Science, 2013)을 참고하였다.

### 2.3 GIS를 이용한 대규모 프로그램 감축사업 대상지 조사

본 연구에서 필요로 하는 사업 대상지를 추출하기 위해서는 여러 가지 적용조건이 필요하다. 우선 '벌기령 연장을 통한 산림경영사업 방법론(산림청, 2017)'을 확인해보면 해당 방법론의 적용 조건으로는 첫 번째로 산림의 요건을 만족해야 한다. 산림의 요건은 0.5 ha(5,000 m<sup>2</sup>)이상이어야 하며, 수관 울폐도는 10%이상, 임목의 평균 수고는 5 m 이상이어야 한다. 산림청에서 조사한 4차 임상도를 활용하여 0.5 ha이상, 울폐도 10%이상, 평균 수고 5 m 이상인 지역을 우선적으로 추출해냈다.

두 번째로 목재 수확을 통한 수익을 얻는 것을 목적으로 하는 산림을 대상으로 한다. 이를 확인하기 위해서는 산림청의 4차 임상도를 통하여 목재 수확을 할 수 없는 천연림을 제외시키고 인공림만 본 연구에서 사용하였다. 추가적으로 목재 수확을 통해 수익을 얻는 것을 목적으로 산림을 경영하는 것을 베이스라인 시나리오로 하므로, '산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률' 등에서 목재수확이 제한되는 산림은 해당 방법론을 적용할 수 없기에 산림 이용 구분도를 통해 보전산지(공익용산지)는 제외하고, 준보전산지, 임업용산지를 기본자료로 채택하였다.

세 번째로 산림인증현황 및 산림경영계획이 작성되어있는 산림이어야 한다. 이를 일일이 확인 및 대조하기는 현실적인 어려움이 있으므로, 상대적으로 경영여건이 양호한 경제림 육성단지를 주요 분석대상으로 설정하였다.

### 2.4 이산화탄소 순흡수량 산정

위 GIS 자료를 토대로 흡수량을 산출하기 위해선 이산화탄소 흡수량을 계산할 수 있는 계산식이 필요하다. 산림부문 외부사업 방법론 중에서는 산림경영 방법론이 없기 때문에 산림탄소상쇄제도에 있는 '벌기령 연장을 통한 산

림경영 방법론'을 참고해서 계산을 하였다.

베이스라인 이산화탄소 흡수량 산정은 법률에서 정한 기준 벌기령에 따라 벌채가 이루어지는 것을 베이스라인 시나리오로 설정하여, 100년간 예상되는 지상부와 지하부 산림바이오매스의 평균 탄소 흡수량을 구하여 이산화탄소 흡수량으로 산정하였다.

이차적 배출량 중에서 사업 배출량은 사업 시행 과정에서 장비 등의 사용으로 발생하는 이산화탄소 배출량으로, 사업에 따른 연간 이산화탄소 흡수량이 3,000 tCO<sub>2</sub>-eq 미

만인 경우에는 이산화탄소 흡수량의 5%를 사업 배출량으로 산정하며, 3,000 tCO<sub>2</sub>-eq 이상일 경우에는 실제 사업 배출량을 조사하여 산정한다. 사업 누출량은 사업추진으로 인해 사업 경계 외부에서 온실가스 배출량의 증가가 일어나는 것으로, 사업에 따른 연간 이산화탄소 흡수량이 3,000 tCO<sub>2</sub>-eq 미만인 경우에는 이산화탄소 흡수량의 2%를 누출량으로 산정하며, 3,000 tCO<sub>2</sub>-eq 이상일 경우에는 실제 누출량을 조사하여 산정한다.

본 연구에서는 2018년 11월 기준 산림부문 외부사업에

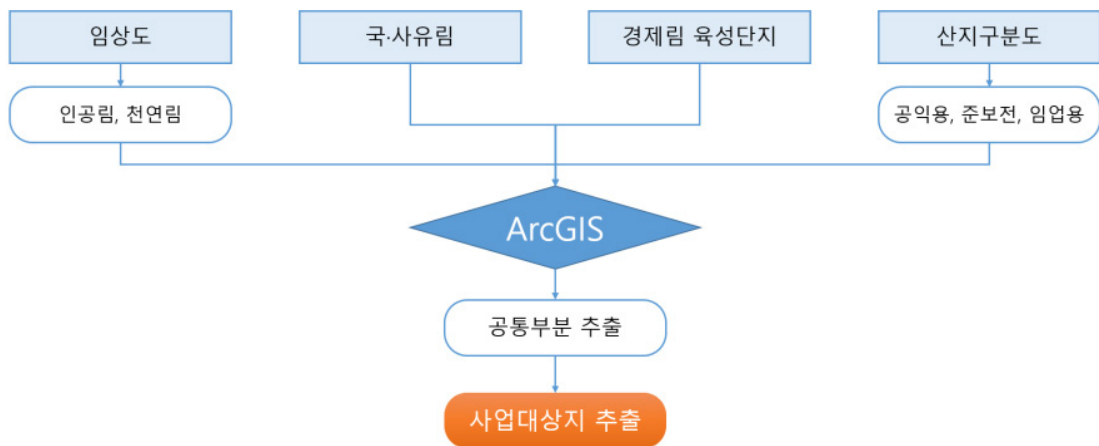


Fig 1. The Process of extracting business area using GIS

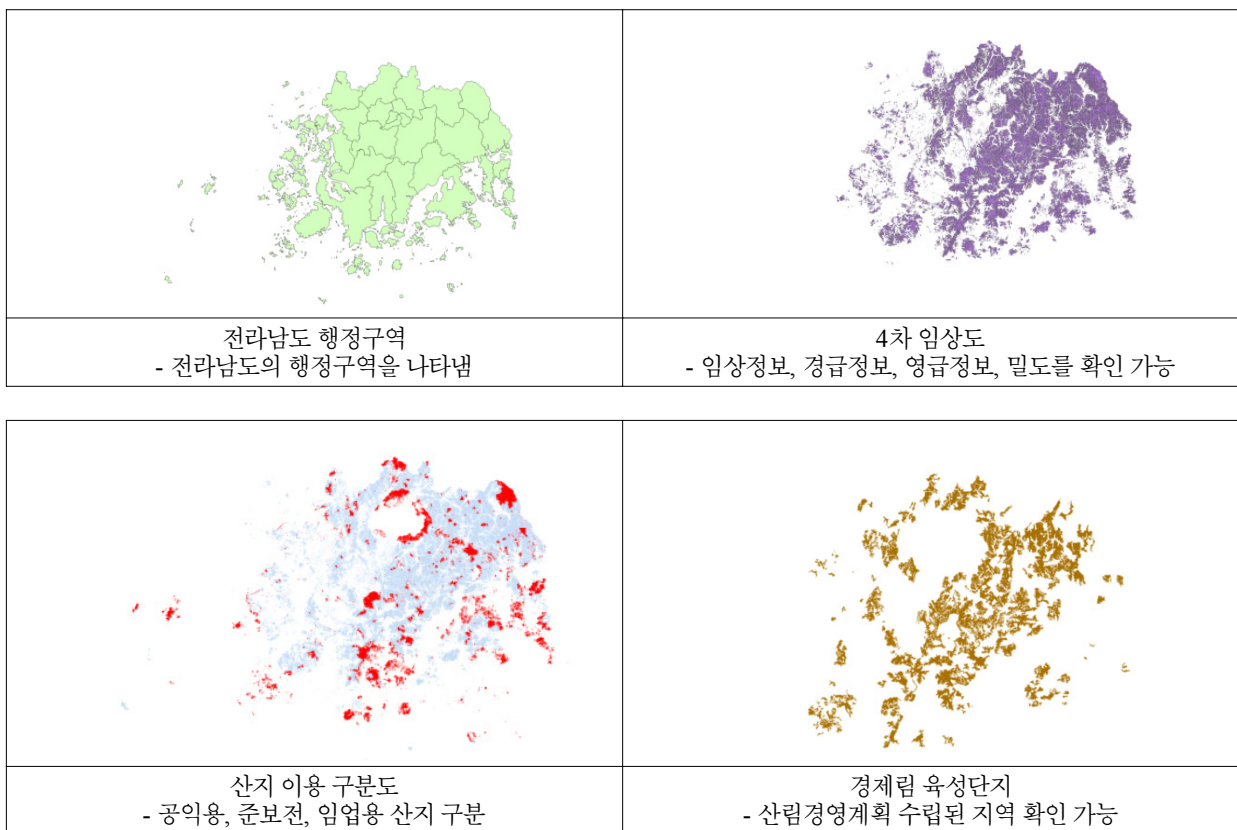


Fig 2. Organize GIS data

등록된 사업들과 산림탄소상쇄사업에 등록된 사업들을 토대로 자료를 확인했을 때, 일반적으로 사업의 규모가 크지 않고 연간 이산화탄소 흡수량이 3,000 tCO<sub>2</sub>-eq를 넘는 사업이 없었으므로 전라남도 전체를 기준으로 계산하는 본 연구의 경우에도 실제 사업 배출량, 누출량을 조사하여 산정하기 보다는 전체 탄소 흡수량의 5%와 2%를 사업 배출량과 누출량으로 계산하였다.

법정 기준 벌기령은 '산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙' 제7조제2항 및 제48조의5 관련 '[별표 3] 기준 벌기령 및 벌채·굴취기준'에 따라서 베이스라인 시나리오의 벌채 기준을 설정했으며, 수종별 탄소 흡수계수는 산림청 홈페이지의 수종별 국가 고유계수를 사용하였으며, 탄소함량비는 IPCC에 나와있는 계수를 적용하였다. 계산과정에서 필요한 임목 재적량, 임목 총 성장량은 '임목

재적·바이오매스 및 임분수확표(2018)'을 참고하였다.

<Table 1>의 계산법을 적용하기 위해서는 <Fig 2>에서 정리한 GIS 자료를 교차영역 편집을 통해 사업대상지를 도출해내야 한다.

$$B_i = \sum_{i=1}^I \Delta C_p \times 3.664 \tag{1}$$

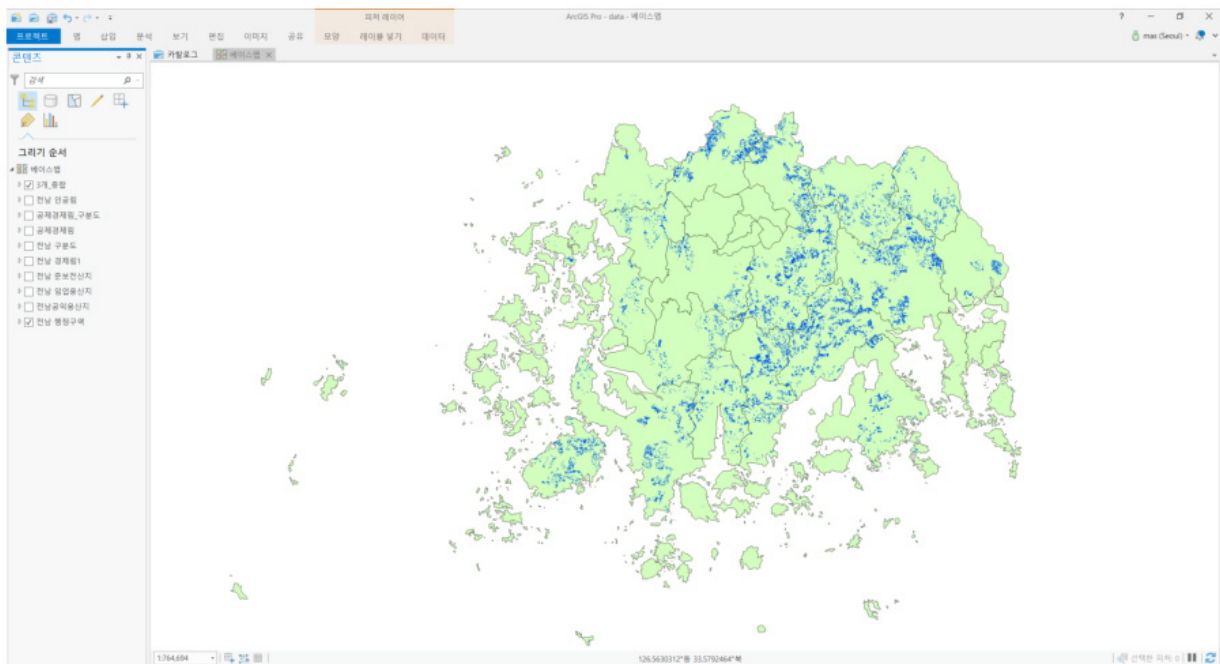
$$\Delta C_p = \sum_{p=1}^t (CV_p - CV_{p-1}) \tag{2}$$

$$CV_p = V_p \times BEF \times (1 + RR) \times WD \times CF \tag{3}$$

<Fig 3>에서와 같이 인공림, 준보전산지, 임업용산지, 경제림육성단지의 교차부분을 추출한 뒤 나오는 사업대상

**Table 1.** Calculation of carbon dioxide though final age extention forest management business methodology

기호	정의	단위
$B_i$	t기간의 이산화탄소 흡수량	tCO <sub>2</sub> -eq
$\Delta C_p$	사업에 따른 지상부와 지하부 산림바이오매스의 탄소축적 변화량의 합	tC
$i$	산림구획(1, 2, 3, ..., i)	-
$t$	사업기간(혹은 모니터링 기간)	-
$CV_p$	p년의 지상부 및 지하부 산림바이오매스 탄소축적	tC
$V_p$	p년의 줄기 바이오매스 재적	m <sup>3</sup>
$BEF$	바이오매스 확장계수	-
$RR$	뿌리 함량비	-
$WD$	목재기본밀도	tdm/m <sup>3</sup>
$CF$	탄소전환계수	tC/tdm
3.664	CO <sub>2</sub> / C 의 분자량 비율	CO <sub>2</sub> -eq / C



**Fig 3.** Extraction of intersection

지에서 해당 지역에 대한 속성값을 이용하면 탄소 흡수량을 산출할 수 있다. 속성 값 중에서 법적 기준별기령은 수종에 따라 달라지기 때문에 우선 수종에 따라 1차적으로 나뉘었으며, 임령에 따라 임목재적이 달라지고, 이는 탄소 흡수량에 변화를 주기 때문에 임령을 나누는 과정을 거쳤다.

영급은 임상도에 나와있는 것처럼 1~6영급으로 나뉘었으며, 법적 기준 별기령에 도달하면 벌채 후 새로 식목을 한다는 가정으로 베이스라인 흡수량을 산정했으며, 각 영급에서 임령은 영급 구간별 평균값으로 가정하고 산정하였다.

별기령 연장을 하였을 때 탄소 흡수량 산출방식은 모든 수종에 대해서 최대 80년까지 별기령을 연장하고 80년이 지나면 벌목하고 다시 식목한다는 가정으로 흡수량을 산정했다.

두 가지의 시나리오 중에서 베이스라인 탄소 흡수량은 1,963,216 tC이고, 이산화탄소로 환산시 7,198,457 tCO<sub>2</sub>-eq이며, 별기령 연장에 따른 프로젝트 흡수량은 5,803,183 tC이고, 이산화탄소로 환산시 21,278,338 tCO<sub>2</sub>-eq이다. 이에 따른 사업 배출량은 703,994 tCO<sub>2</sub>-eq이며, 사업 누출량은 281,598 tCO<sub>2</sub>-eq이다.

해당 사업은 '외부사업 타당성 평가 및 감측량 인증에 관한 지침' 제11조6항에 의해 사업기간을 60년 이상으로 설정할 수 없으므로 전체 총 사업기간은 60년으로 설정했을 때의 값이다.

이산화탄소 순흡수량은 잠재 프로젝트 탄소 흡수량에서 베이스라인 흡수량을 제외하고, 사업활동에 따른 배출량과 누출량을 제외한 값이다. 위와 같은 내용에 따라서 본 연구

**Table 2.** Calculation of carbon dioxide net absorb according to though final Age extended forest management methodology of Jeollanam-do

이산화탄소 순흡수량 산정	
(a) 산림바이오매스 탄소흡수량	5,803,183 tC
(b) 고사유기물 및 산림토양의 탄소저장량(선제)	0 tC
(c) 총 탄소흡수량(c=a+b)	5,803,183 tC
(d) 베이스라인 흡수량 이산화탄소 흡수량(이차적 배출 차감 전)	1,963,216 tC 14,079,882 tCO <sub>2</sub>
(e) 사업활동에 따른 배출량	703,994 tCO <sub>2</sub>
(f) 누출량	281,598 tCO <sub>2</sub>
(g) t기간	60 년
(h) 이산화탄소 순흡수량(h=g/t*(c-d)*44/12-e-f) 연간 이산화탄소 순흡수량	13,094,290 tCO <sub>2</sub> 218,238 tCO <sub>2</sub>

총 면적	73,432 ha
연간 ha당 이산화탄소 순흡수량	3.0 tCO <sub>2</sub> /ha

**Fig 4.** Result of baseline absorption calculation for chestnut

대상의 총 이산화탄소 잠재 흡수량은 13,094,290 tCO<sub>2</sub>-eq이며, 연간 이산화탄소 흡수량은 281,238 tCO<sub>2</sub>-eq가 된다.

2.5 경제성 분석

본 연구대상지인 전라남도에서 산림부문 외부사업을 진행하지 않았을 때의 베이스라인 편익과 벌기령 연장을 통한 산림경영사업을 진행함으로써 얻게 되는 편익에 대한 분석을 실시하였다. 베이스라인의 편익은 목재를 벌기령에 맞게 벌목함으로써 얻게 되는 원목 산지 가격을 기준으로 정했으며, 벌기령 연장을 통한 사업의 편익은 벌기령을 80년으로 연장 후 얻게 되는 원목 산지 가격을 기준으로 선정하는 것을 시나리오 1로 하고, 사업을 통해 발생하는 배출권을 원목 비용과 함께 처분하는 것을 시나리오 2로 설정했다. 사업에 따른 비용은 인건비와 집재비만 가정하고 경제성 분석을 실시하였다.

산지가격은 ‘원목시장가격정보(한국임업진흥원, 2017)’에 있는 값을 수종별로 재적량에 따라 값을 산출했으며, 나와있지 않은 수종의 경우에는 침엽수와 활엽수로 나누어서 보수적 산정을 진행하였다. 기타 침엽수의 경우에는 리기다소나무의 값으로 산정했으며, 기타 활엽수는 참나무 값으로 산정하였다. 벌채 인건비와 집재비는 ‘전국 임목벌채업 실태조사보고서(2010)’를 참고해서 산정하였으며, 각각 1 m<sup>3</sup>당 15.2천원, 16천원으로 산정하였다. 산정 과정에서 물가상승률, 소비자 물가지수, 임금 상승률 등 사용된 시장가격에 대한 이윤은 고려하지 않았다.

계산 결과 베이스라인 시나리오의 B/C값은 2.79이며, 순이익은 2,817 억원으로 확인되었고, 벌기령 연장 시나리오

1의 B/C값은 2.80, 순이익은 4,033 억원으로 추정되었고, 탄소배출권 가격을 고려한 시나리오 2의 B/C값은 4.17, 순이익은 7,110 억원으로 산출되었다.

3. 결론 및 고찰

3.1 결론 및 고찰

계산 결과 산림부문 외부사업을 실행하지 않은 베이스라인 B/C 결과값보다 벌기령 연장을 통한 산림경영사업을 진행했을 때의 B/C값이 더 높게 산정되는 것을 확인할 수 있었다. 베이스라인 B/C값과 벌기령 연장 시나리오 1의 B/C값에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, 탄소 배출권의 판매가 포함되는 시나리오 2에서는 B/C이 큰 차이를 보였다. 이를 통해 산림경영 방법론이 상쇄제도 외부사업의 방법론으로 도입되게 된다면 긍정적인 경제효과를 유발할 것으로 보이며, 국가 온실가스 감축량에도 잠재적인 경제적 효과를 가져 올 것으로 예상된다.

본 연구는 추후에 전라남도에 국한되어 있는 작업이 아닌 사업 경계를 국가 전체로 확대시켜 산정할 필요성을 느꼈으며, 본 연구에서 고려되지 않은 임금 상승률, 물가 상승률, 소비자 물가지수 등 시장가격에 영향을 주는 이윤들을 고려하면 더 자세한 결과값을 얻을 수 있을 것이라고 판단한다.

4. 사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구

베이스라인 벌채량에 따른 단순비용 분석										
년도	수종	벌채면적	임목축적	산지가격	벌채 인건비	집재비	소요 비용	순이익	B/C	
2018	낙엽송	261.18	17,553.05	2,211,684,160	266,806,343	280,848,782	547,655,125	1,664,029,035	4.04	
	리기다	33,019.19	2,172,501.22	189,007,605,900	33,022,018,502	34,760,019,476	67,782,037,978	121,225,567,922	2.79	
2023	밤나무	4,261.67	453,187.51	31,043,344,597	6,888,450,188	7,251,000,198	14,139,450,386	16,903,894,211	2.20	
	기타 침엽수	28,165.20	1,707,854.86	148,583,373,144	25,959,393,929	27,325,677,820	53,285,071,748	95,298,301,396	2.79	
	기타 활엽수	3,706.62	394,162.84	27,000,154,826	5,991,275,231	6,306,605,507	12,297,880,738	14,702,274,088	2.20	
	중부지역소나무	1,590.66	96,452.92	17,776,272,643	1,466,084,342	1,543,246,675	3,009,331,017	14,766,941,626	5.91	
2033	잣나무	1,384.67	133,585.23	17,192,418,511	2,030,495,426	2,137,363,607	4,167,859,033	13,024,559,478	4.13	
	밤나무	7.39	894.21	61,253,296	13,591,972	14,307,339	27,899,311	33,353,984	2.20	
2043	기타 침엽수	924.53	66,591.49	5,793,459,788	1,012,190,676	1,065,463,869	2,077,654,545	3,715,805,243	2.79	
	중부지역소나무	0.09	6.25	1,151,489	94,968	99,966	194,935	956,554	5.91	
	기타 활엽수	93.20	11,269.88	771,987,011	171,302,227	180,318,134	351,620,361	420,366,650	2.20	
	잣나무	2.32	259.40	33,384,426	3,942,838	4,150,356	8,093,194	25,291,232	4.13	
베이스 라인 총 편익				439,476,089,790	76,825,646,643	80,869,101,729	157,694,748,372	281,781,341,418	2.79	
벌기령 벌채량에 따른 단순비용 분석										
년도	수종	벌채면적	임목축적	산지가격	벌채 인건비	집재비	소요 비용	순이익	B/C	
	기타 침엽수	29,089.74	2,222,967.64	193,398,184,703	33,789,108,132	35,567,482,244	69,356,590,376	124,041,594,327	2.79	
	중부지역소나무	1,590.75	121,561.02	22,403,696,422	1,847,727,540	1,944,976,358	3,792,703,898	18,610,992,524	5.91	
	리기다	33,019.19	3,611,876.59	314,233,263,692	54,900,524,231	57,790,025,507	112,690,549,738	201,542,713,954	2.79	
	밤나무	4,269.07	533,623.20	36,553,189,175	8,111,072,634	8,537,971,194	16,649,043,828	19,904,145,346	2.20	
	기타 침엽수	3,799.82	474,968.06	32,535,312,216	7,219,514,536	7,599,488,985	14,819,003,520	17,716,308,696	2.20	
	잣나무	1,386.99	191,182.51	24,605,189,177	2,905,974,169	3,058,920,177	5,964,894,346	18,640,294,831	4.13	
	낙엽송	261.18	30,250.57	3,811,571,428	459,808,617	484,009,070	943,817,687	2,867,753,741	4.04	
	시나리오 1 (목재 판매)				627,540,406,814	109,233,729,859	114,982,873,535	224,216,603,394	403,323,803,420	2.80
	시나리오 2 (목재판매 및 배출권 거래)				935,256,219,597	109,233,729,859	114,982,873,535	224,216,603,394	711,039,616,203	4.17
	탄소 순흡수량		탄소 평균 가격	배출권 전체 가격						
13,094,290		23500	307,715,812,784							

Fig 5. Benefit from baseline, final age extended scenarios

개발사업'2017098A00-1819-BB01'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

#### REFERENCES

- 1) 김대수, 손원익, 황인창 “공편익을 고려한 산림탄소상쇄사업 활성화 방안”, 환경정책, 24(4), 1~24 (2016).
- 2) 신재현 “위성영상과 지리정보시스템을 이용한 경기북부 산림 지역의 바이오매스 추정과 이산화탄소 흡수량의 산정”, 1~53 (2012).
- 3) 김영환, “국내 산림탄소상쇄 운영표준 및 VCS 방법론에 따른 산림경영 사업의 산림탄소흡수량 차이 분석”, Journal of Climate Change Research 8(4), 369~375 (2017).
- 4) Owen Stuckey, “A Comparison of ArcGIS and QGIS for Animation”, Cartographic Perspectives, 23~32 (2016).
- 5) “Climate Change and Forestry in California”, California Air Resources Board, <https://www.arb.ca.gov/cc/forestry/forestry.htm>.
- 6) 산림청, 국립산림과학원, “임목재적·바이오매스 및 임분수확표” (2018).
- 7) 산림조합중앙회, “전국 임목벌채업(목상) 실태조사 보고서” (2010).
- 8) 원현규, 김영환, 장광민, 김철민, 이경학, “경제림육성단지 관리 방안과 장기경영계획 모델”, (2011).
- 9) 김형호, 최혜지, 권순덕, 김은희, 김원경, “GIS를 활용한 경제림 육성단지 등급 구분 및 활용”, 농업생명과학연구, 49(5), 57~65 (2015).

