



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0022262
(43) 공개일자 2020년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16C 10/00 (2019.01) G06F 30/00 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 19/00 (2018.01)
G06F 30/20 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2018-0098175
(22) 출원일자 2018년08월22일
심사청구일자 2018년08월22일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
손요환
서울특별시 성북구 종암로9길 71, 204동 2002호 (종암동, 아이파크아파트)
이종열
경기도 과천시 별양로 12, 303동 1401호 (원문동, 래미안슈르아파트)
김형섭
서울특별시 성북구 안암로9가길 76, 505호 (안암동5가)
(74) 대리인
김중선, 이형석

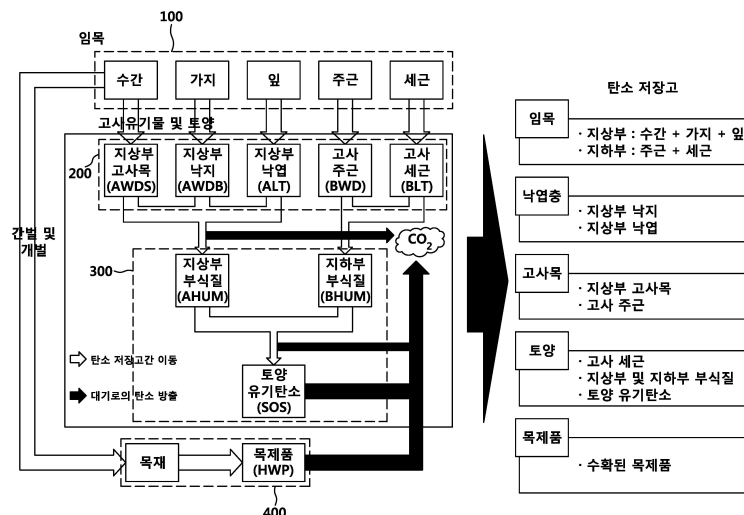
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 국가 산림탄소 인벤토리를 위한 산림탄소를 모델링하는 방법

(57) 요약

국가 산림탄소를 모델링하는 방법이 개시된다. 상기 방법은 임분 생장 시뮬레이션을 이용하여 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산하는 단계와, 상기 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적에 산림경영 시뮬레이션을 적용하여 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적을 예측하는 단계와, 상기 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적과 목재기본밀도를 이용하여 단위 면적당 줄기 질량을 측정하는 단계와, 상기 단위 면적당 줄기 질량을 이용하여 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량을 산출하는 단계를 포함하고, 상기 산림경영 시뮬레이션은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율과, 간벌 실행 후 경과 시간을 이용하여 도출된다. 또한 산림경영 중 발생하는 고사유기물(낙엽, 낙지, 죽은 뿌리 등)의 유입과, 기후변화에 의한 고사유기물 분해를 변화를 추정하며, 수확된 목제품의 탄소 인벤토리도 종합적으로 추정된다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1405003164
 부처명 산림청
 연구관리전문기관 한국임업진흥원
 연구사업명 신기후체제대응연구
 연구과제명 신기후체제 대응 산림분야 국가 온실가스 인벤토리 산정체계 및 탄소계정 고도화 연구
 기 여 율 8/10
 주관기관 고려대학교 산학협력단
 연구기간 2017.04.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1485012286
 부처명 환경부
 연구관리전문기관 한국환경산업기술원
 연구사업명 기후변화대응환경기술개발
 연구과제명 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 산림, 농업 부문
 기 여 율 2/10
 주관기관 고려대학교 산학협력단
 연구기간 2014.05.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

임분 생장 시뮬레이션을 이용하여 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산하는 단계;

상기 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적에 산림경영 시뮬레이션을 적용하여 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적을 예측하는 단계;

상기 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적과 목재기본밀도를 이용하여 단위 면적당 줄기 질량을 측정하는 단계; 및

상기 단위 면적당 줄기 질량을 이용하여 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량을 산출하는 단계;를 포함하고,

상기 산림경영 시뮬레이션은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율과, 간벌 실행 후 경과 시간을 이용하여 도출되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 임분 생장 시뮬레이션은 국가산림자원조사의 데이터를 이용하여 1 헥타르(ha) 당 임목축적, 대표수종, 및 평균임령을 추출하고, 비선형 회귀분석을 수행하여 도출되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산림경영 시뮬레이션은 하기의 수학적식을 만족하는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

[수학적식]

$$RR(\%) = (100 - TI) + TI \times (1 - e^{(-0.045 \times RT)})$$

여기서, RR은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율을 의미하고, TI(thinning intensity)는 간벌 강도를 의미하고, RT(recovery time)은 간벌 후 지난 시간을 의미한다.

청구항 4

제1항에 있어서,

목재 관리 시뮬레이션을 이용하여 수확된 목제품의 탄소 축적량을 계산하는 단계;를 더 포함하고,

상기 목재 관리 시뮬레이션은 상기 목제품에서 연간 방출되는 탄소량을 반영하여 도출되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 목재 관리 시뮬레이션은 하기의 수학적식을 만족하는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

[수학적식]

$$HWP_C_t = 0.98 \times HWP_C_{t-1} + Harvested\ timber_t$$

여기서, HWP_{C_t}는 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, 0.98은 상기 목제품에서 연간 방출되는 탄소량을 반영하기 위하여 도출된 상수이고, HWP_{C_{t-1}}는 직전년도의 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, Harvested

timber_t 는 매년 벌채되는 목재의 탄소량을 의미한다.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 계산된 임분에서의 줄기 체적에 생장 조절자(growth modifier(GM))를 이용하여 실제 줄기의 생장과 계산된 생장 사이를 보정하는 단계;를 더 포함하고,

상기 생장 조절자(GM)는 하기의 수학적식을 만족하는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

[수학적식]

$$GM = V_{obs} / V_{est}$$

여기서, V_{obs} 는 각 임분에서의 관찰된 줄기 체적을 의미하고, V_{est} 는 상기 임분 생장 시뮬레이션에 의한 각 임분에서의 측정된 줄기 체적을 의미한다.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량을 산출하는 단계는,

상기 단위 면적당 줄기 질량과 임목 변환 인자를 이용하여 단위 면적당 가지, 잎, 및 주근 각각의 질량을 측정하는 단계;

측정된 각 질량을 이용하여 가지, 잎, 및 주근 각각의 탄소 축적량을 계산하는 단계; 및

상기 주근의 탄소 축적량과 종별 세균 대비 주근의 비율을 이용하여 세균의 탄소 축적량을 계산하는 단계;를 더 포함하고,

상기 임목 변환 인자는 국립산림과학원(2010)의 임목 수간석해 데이터를 이용하여 각 수종 및 임령에 대해 도출된 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 줄기의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 줄기의 탄소 축적량, 상기 줄기의 회전율(turnover rate), 및 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고,

상기 가지의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 가지의 탄소 축적량, 상기 가지의 회전율(turnover rate), 및 상기 가지의 지상 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고,

지상 낙엽의 탄소 축적량은 이전 년도의 잎의 탄소 축적량, 상기 잎의 회전율(turnover rate), 및 상기 지상 낙엽의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고,

지하 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 주근의 탄소 축적량, 상기 주근의 회전율(turnover rate), 및 상기 지하 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고,

지하 낙엽의 탄소 축적량은 이전 년도의 세균의 탄소 축적량, 상기 세균의 회전율(turnover rate), 및 상기 지하 낙엽의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

지상부 부식질(aboveground humus(AHUM)) 탄소 저장량은 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 가지의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 지상 낙엽의 탄소 축적량, 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 분해율, 상기 가지의 지상 나무 잔해의 분해율, 상기 지상 낙엽의 분해율, 및 상기 지상부 부식질 분해율을 이용하여 측정되고,

지하부 부식질(belowground humus(BHUM)) 탄소 저장량은 상기 지하 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 지하 낙엽의 탄소 축적량, 상기 지하 나무 잔해의 분해율, 상기 지하 낙엽의 분해율, 및 상기 지하부 부식질의 분해율을 이용하여 측정되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

토양 유기 탄소(soil organic C(SOC))의 탄소 축적량은 상기 지상부 부식질의 탄소 축적량, 상기 지하부 부식질의 탄소 축적량, 상기 지상부 부식질의 분해율, 상기 지하부 부식질의 분해율, 및 상기 토양 유기 탄소의 분해율을 이용하여 측정되는 것을 특징으로 하는 국가 산림탄소를 모델링하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 개념에 따른 실시 예는 국가 산림탄소 인벤토리를 위한 산림탄소를 모델링하는 방법에 관한 것으로, 특히, 국가 산림탄소 인벤토리 보고 및 영향평가(기후변화 및 산림경영)를 위한 국내 전체 산림탄소를 모델링하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 인위적 온실가스 배출로 인한 기온 상승이 심화되고 있다. 이에 따라 산림의 탄소 흡수 기능이 국제사회로부터 조명받아 왔다.

[0003] 산림은 주요한 온실가스 흡수원이다. 따라서, 과학적으로 신뢰도 높은 산림부문 탄소 인벤토리 보고 및 탄소 흡수 잠재력 정량화의 필요성이 증가하고 있다.

[0004] IPCC(intergovernmental panel on climate change) 우수 실행 지침(good practice guidance)은 산림부문에서 크게 임목, 고사유기물(낙엽층 및 고사목), 토양, 및 수확된 목제품(harvested wood products; HWP) 탄소 저장고의 저장량 변화(탄소 인벤토리)를 보고하도록 권고하고 있다.

[0005] 그러나, 국내 산림탄소 인벤토리는 위의 네 가지 항목 중 임목에 대해서만 보고되는 실정이다. 특히, 현재 국내 임목의 탄소 인벤토리는 과거와 현재의 인벤토리를 파악할 수 있는 국가산림자원조사(national forest inventory(NFI)) 자료 및 상수형태의 탄소배출계수를 기반으로 추정되므로, 미래 기후변화 및 산림경영에 따른 국가 산림탄소 인벤토리 변화를 예측할 수 없다는 한계점이 존재한다. 또한 미래 산림탄소 흡수 향상을 위한 산림정책 수립도 어렵다.

[0006] 등록특허 제10-1390668호에는 대상 수종의 토양 탄소를 평가할 수 있는 한국형 산림토양탄소모델이 개시되어 있다. 상기 선행기술문헌은 획득이 용이한 임분 정보를 모델에 적용하여 산림토양 내 탄소 저장량 및 변화를 추정한다.

[0007] 그러나, 상기 선행기술문헌은 1개 수종(소나무) 및 토양 탄소에 치중하고 있으므로 여전히 국가 규모의 전체 산림탄소 인벤토리를 평가하기에 부족하다는 문제점이 있다. 또한 주요한 외부 영향 요소인 기후변화와 산림경영의 복합적인 영향을 평가할 수 있는 기능이 존재하지 않는다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 등록특허 제10-1390668호(2013.10.22)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 국가 산림탄소를 모델링하는 방법은 평가 가능한 수종 및 평가 항목(탄소 저장고)을 확장하여 모델을 고도화 하는 것을 목적으로 한다. 또한, 산림탄소에 대하여 기후변화 및 산림경영의 복합적인 영향을 평가하는 기능을 개발하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 국가 산림탄소를 모델링 하는 방법은 임분 생장 시뮬레이션을 이용하여 수종별 임령(임분의 연령; stand age)에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산하는 단계와, 상기 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적에 산림경영 시뮬레이션을 적용하여 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적을 예측하는 단계와, 상기 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적과 목재기본밀도를 이용하여 단위 면적당 줄기 질량을 측정하는 단계와, 상기 단위 면적당 줄기 질량을 이용하여 임목 부위별로 저장된 임목 내 탄소량을 산출하는 단계를 포함하고, 상기 산림경영 시뮬레이션은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율과, 간벌 실행 후 경과 시간을 이용하여 도출된다. 한편 고사유기물 및 토양의 탄소 변화는 기후변화로 인한 고사유기물 및 토양의 분해를 변화를 모의할 수 있는 모듈 및 기후변화 시나리오 입력자료를 이용하는 단계를 포함하고, 상기 산림경영 중 발생하는 고사유기물(낙엽, 낙지, 죽은 뿌리 등)의 유입 등을 종합하여 도출된다.

[0011] 상기 임분 생장 시뮬레이션은 국가산림자원조사의 데이터를 이용하여 1 헥타르(ha) 당 임목축적, 대표수종, 및 평균임령을 추출하고, 비선형 회귀분석을 수행하여 도출된다.

[0012] 상기 산림경영 시뮬레이션은 하기의 수학식을 만족한다.

[0013] [수학식]

$$[0014] \quad RR(\%) = (100 - TI) + TI \times (1 - e^{(-0.045 \times RT)})$$

[0015] 여기서, RR은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율을 의미하고, TI(thinning intensity)는 간벌 강도를 의미하고, RT(recovery time)은 간벌 후 지난 시간을 의미한다.

[0016] 상기 방법은 목재 관리 시뮬레이션을 이용하여 수확된 목제품의 탄소 축적량을 계산하는 단계를 더 포함하고, 상기 목재 관리 시뮬레이션은 상기 목제품에서 연간 방출되는 탄소량을 반영하여 도출된다.

[0017] 상기 목재 관리 시뮬레이션은 하기의 수학식을 만족한다.

[0018] [수학식]

$$[0019] \quad HWP_C_t = 0.98 \times HWP_C_{t-1} + Harvested\ timber_t$$

[0020] 여기서, HWP_{C_t}는 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, 0.98은 상기 목제품에서 연간 방출되는 탄소량을 반영하기 위하여 도출된 상수이고, HWP_{C_{t-1}}는 직전년도의 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, Harvested timber_t는 매년 벌채되는 목재의 탄소량을 의미한다.

[0021] 상기 방법은 상기 계산된 임분에서의 줄기 체적에 생장 조절자(growth modifier(GM))를 이용하여 실제 줄기의 생장과 계산된 생장 사이를 보정하는 단계를 더 포함하고, 상기 생장 조절자(GM)는 하기의 수학식을 만족한다.

[0022] [수학식]

$$[0023] \quad GM = V_{obs} / V_{est}$$

[0024] 여기서, V_{obs}는 각 임분에서의 관찰된 줄기 체적을 의미하고, V_{est}는 상기 임분 생장 시뮬레이션에 의한 각 임분에서의 측정된 줄기 체적을 의미한다.

[0025] 상기 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량을 산출하는 단계는, 상기 단위 면적당 줄기 질량과 임목 변환 인자를 이용하여 단위 면적당 가지, 잎, 및 주근 각각의 질량을 측정하는 단계와, 측정된 각 질량을 이용하여 가지, 잎, 및 주근 각각의 탄소 축적량을 계산하는 단계와, 상기 주근의 탄소 축적량과 종별 세근 대비 주근의 비율을 이용하여 세근의 탄소 축적량을 계산하는 단계를 더 포함하고, 상기 임목 변환 인자는 국립산림과학원(2010)의 임목 수간석해 데이터를 이용하여 각 수종 및 임령에 대해 도출된다.

[0026] 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 줄기의 탄소 축적량, 상기 줄기의 회전율(turnover

rate), 및 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고, 상기 가지의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 가지의 탄소 축적량, 상기 가지의 회전율(turnover rate), 및 상기 가지의 지상 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고, 지상 낙엽의 탄소 축적량은 이전 년도의 잎의 탄소 축적량, 상기 잎의 회전율(turnover rate), 및 상기 지상 낙엽의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고, 지하 나무 잔해의 탄소 축적량은 이전 년도의 주근의 탄소 축적량, 상기 주근의 회전율(turnover rate), 및 상기 지하 나무 잔해의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정되고, 지하 낙엽의 탄소 축적량은 이전 년도의 세근의 탄소 축적량, 상기 세근의 회전율(turnover rate), 및 상기 지하 낙엽의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정된다.

[0027] 지상부 부식질(aboveground humus(AHUM)) 탄소 저장량은 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 가지의 지상 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 지상 낙엽의 탄소 축적량, 상기 줄기의 지상 나무 잔해의 분해율, 상기 가지의 지상 나무 잔해의 분해율, 상기 지상 낙엽의 분해율, 및 상기 지상부 부식질 분해율을 이용하여 측정되고, 지하부 부식질(belowground humus(BHUM)) 탄소 저장량은 상기 지하 나무 잔해의 탄소 축적량, 상기 지하 낙엽의 탄소 축적량, 상기 지하 나무 잔해의 분해율, 상기 지하 낙엽의 분해율, 및 상기 지하부 부식질의 분해율을 이용하여 측정된다.

[0028] 토양 유기 탄소(soil organic C(SOC))의 탄소 축적량은 상기 지상부 부식질의 탄소 축적량, 상기 지하부 부식질의 탄소 축적량, 상기 지상부 부식질의 분해율, 상기 지하부 부식질의 분해율, 및 상기 토양 유기 탄소의 분해율을 이용하여 측정된다.

발명의 효과

[0029] 상기한 바와 같은 본 발명의 산림 탄소를 모델링하는 방법은 전체 산림탄소 인벤토리 보고 및 복합적 영향평가(기후변화 및 산림경영)를 수행할 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 FBDC(forest biomass and dead organic matter carbon) 모델의 구조를 개념화한 도면이다.

도 2는 스핀 업 시나리오에서 각 저장고의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타낸다.

도 3은 산림 복구 시나리오에서 각 저장고의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타낸다.

도 4는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 저장량을 나타낸다.

도 5는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 흡수량을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 산림탄소를 모델링하는 방법을 설명하기 위한 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하에서는 본 발명에 따른 실시 예 및 도면을 참조하여, 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.

FBDC 모델

[0033] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 FBDC 모델의 구조를 개념화한 도면이다. 도 1을 참조하면, FBDC(forest biomass and dead organic matter carbon) 모델(10)은 임목 구획(100), 1차 고사유기물 구획(200), 2차 고사유기물 구획(300), 및 수확된 목제품 구획(400)으로 구성된다.

[0034] 임목 구획(100)은 줄기(stem), 가지(branch), 잎(foliage), 굵은 뿌리(coarse root; 주근), 및 가는 뿌리(fine root; 세근)를 포함한다.

[0035] 1차 고사유기물 구획(200)은 줄기의 지상 나무 잔해(aboveground woody debris from stem(AWDS)), 가지의 지상 나무 잔해(aboveground woody debris from branches(AWDB)), 지상 낙엽(aboveground litter(ALT)), 지하 나무 잔해(belowground woody debris(BWD)), 및 지하 낙엽(belowground litter(BLT))을 포함한다.

[0036] 2차 고사유기물 구획(300)은 지상부 부식질(aboveground humus(AHUM)), 지하부 부식질(belowground humus(BHUM)), 및 토양 유기 탄소(soil organic carbon(SOC))를 포함한다.

[0037] FBDC 모델(10)은 다음과 같이 산림탄소 프로세스들을 시뮬레이션한다: 대기 중 탄소가 임목으로 변환된다. 임목

일부가 유기 물질 형태로 1차 고사유기물 저장고(AWDS, AWDB, ALT, BWD, BLT)에 유입이 된다. 상기 유입된 유기 물질은 지상부 및 지하부 부식질(AHUM, BHUM)로 분해된다. 부식질은 토양 유기 탄소(SOC)로 분해된다. 토양 유기 탄소는 대기 중 탄소로 분해된다.

[0038] 4개의 침엽수 종들(*Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, *Larix kaempferi*, *Pinus koraiensis*)과 4개의 활엽수 종들(*Quercus variabilis*, *Quercus mongolica*, *Quercus acutissima*, *Quercus serrata*)에 대한 모델을 파라미터화한다.

[0039] 임목 탄소 축적량을 측정하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션 프로세스를 따른다: 줄기의 체적을 추정한다. 줄기의 체적을 줄기 탄소 축적량으로 변환하고, 다른 부위(가지, 잎, 주근, 및 세근)의 탄소 축적량을 추정한다.

[0040] 첫째, 각 수종에 대한 줄기 체적의 성장 함수를 제5차 국가산림자원조사에서 제공하는 자료(국립산림과학원, 2011)와 고펜츠 함수(Gompertz function; 수학적 식 1)를 이용하여 파라미터화한다(표 1). 다시 말해 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산한다.

[0041] 표 1은 제5차 국가산림자원조사에서 제공할 수 있는 임황 및 개체목 목편 자료를 가공하여 1 헥타르(ha)당 임목 축적, 대표수종, 평균임령을 추출하고, 이에 대하여 비선형회귀분석을 수행하여 도출한 결과이다. 목편은 나이테 자료를 포함하고 있는 시료(샘플)를 의미한다. 여기서, 표 1을 임분 성장 시뮬레이션이라고 지칭한다.

표 1

Species	Coefficient			r^2
	a	b	c	
<i>Pinus densiflora</i>	219.8	-6.93	-0.084	0.63
<i>Pinus rigida</i>	212.6	-6.95	-0.100	0.80
<i>Larix kaempferi</i>	253.9	-5.01	-0.084	0.57
<i>Pinus koraiensis</i>	195.7	-3.63	-0.071	0.32
<i>Quercus variabilis</i>	224.4	-4.35	-0.064	0.70
<i>Quercus mongolica</i>	184.0	-3.57	-0.064	0.59
<i>Quercus acutissima</i>	186.1	-7.06	-0.086	0.68
<i>Quercus serrata</i>	157.5	-12.57	-0.108	0.68

[0043] [수학적 식 1]

[0044]
$$\text{체적}(\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}) = a \times \exp(b \times \exp(c \times \text{임령}))$$

[0045] 여기서, a, b, c는 대상 수종별로 고유하게 주어지는 상수를 의미한다.

[0046] 고펜츠 함수는 임분 규모(stand scale)에서 줄기의 일반적인 패턴을 적절하게 나타낼 수 있으므로 기본 수식으로 선택되었다. [표 1]과 [수학적 식 1]을 이용하여 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산할 수 있다(간별하지 않은 경우).

[0047] 각 영역에서 실제 줄기의 성장과 고펜츠 함수의 예상 성장 사이를 보정하기 위해 다음과 같은 성장 조절자(growth modifier(GM); 수학적 식 2)를 이용한다.

[0048] [수학적 식 2]

[0049]
$$GM = V_{obs} / V_{est}$$

[0050] 여기서, V_{obs} 는 각 임분에서 관찰된 줄기 체적을 의미하고, V_{est} 는 상기 임분 성장 시뮬레이션에 의한 각 임분에서 추정된 줄기 체적을 의미한다.

[0051] [표 1]과 [수학적 식 1]을 이용하여 계산된 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적에 성장 조절자(GM)를 곱하여 실제 줄기의 성장과 계산된 성장 사이를 연속적으로 보정할 수 있다. 즉, 지역별, 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적을 계산할 수 있다.

[0052] 둘째, 임분에서의 줄기 체적에 목재기본밀도(예컨대, *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, *Larix kaempferi*,

Pinus koraiensis, *Quercus variabilis*, *Quercus mongolica*, *Quercus acutissima*, *Quercus serrata* 각각에 대해 0.472, 0.504, 0.453, 0.408, 0.721, 0.663, 0.721, 0.658 g cm⁻³)를 곱하여 단위 면적당 줄기 질량을 계산할 수 있다(국립산림과학원, 2014).

[0053] 셋째, 단위 면적당 줄기의 질량과 임목 변환 인자들(biomass conversion factors(BCFs))을 곱하여 단위 면적당 가지, 잎, 및 주근 각각의 질량을 추정한다. 임목 변환 인자(BCF)는 줄기 질량에 대한 가지, 잎, 및 주근 질량의 비율을 의미한다(수학식 3, 표 2).

[0054] 표 2는 국립산림과학원(2010)의 보고서에서 제공하는 임목 수간석해 자료와 산림청에서 제공하는 임목수확표(2014)를 이용하여 각 수종 및 임령에 따른 대표식을 도출한 결과이다. 여기서 수간석해 자료는 나무들을 베어다가 줄기, 가지, 잎, 뿌리 등으로 모두 분해한 후 이를 개별적으로 무게를 측정한 자료이다.

표 2

[0055]

Species	Compartment	Coefficient		r^2
		a	b	
<i>Pinus densiflora</i>	Branch	0.3493	-0.1398	0.98
	Foliage	0.7559	-0.6749	0.98
	Coarse root	0.3928	-0.0547	0.98
<i>Pinus rigida</i>	Branch	1.2036	-0.5642	0.99
	Foliage	1.2217	-0.8852	0.99
	Coarse root	0.6039	-0.0455	0.99
<i>Larix kaempferi</i>	Branch	0.5313	-0.3025	0.93
	Foliage	0.4927	-0.7266	0.94
	Coarse root	0.4372	-0.0845	0.93
<i>Pinus koraiensis</i>	Branch	0.6669	-0.1493	0.96
	Foliage	0.6574	-0.3056	0.96
	Coarse root	0.4288	0.0185	0.96
<i>Quercus variabilis</i>	Branch	0.0303	0.5205	0.96
	Foliage	0.0548	-0.1447	1.00
	Coarse root	0.5047	-0.0387	1.00
<i>Quercus mongolica</i>	Branch	0.0316	0.7010	1.00
	Foliage	0.0797	-0.0794	1.00
	Coarse root	1.9059	-0.3296	1.00
<i>Quercus acutissima</i>	Branch	0.0412	0.5722	1.00
	Foliage	0.0495	0.0265	1.00
	Coarse root	1.2402	-0.3553	1.00
<i>Quercus serrata</i>	Branch	0.0135	0.9231	1.00
	Foliage	0.0096	0.4594	1.00
	Coarse root	2.8866	-0.4821	1.00

[0056] 임목 변환 인자(BCF)는 임목 부위 간의 연계 관계에서 임령에 따른 임목 부위별 탄소 저장량의 변화를 공식화할 수 있기 때문에 사용된다.

[0057] [수학식 3]

[0058]
$$BCF = a \times \text{임령}^b$$

[0059] 여기서, a와 b는 대상 수종 및 부위별로 고유하게 주어지는 상수를 의미한다.

[0060] 종래에는 1개의 수종(소나무)에 대해서만 지위지수(생산성)를 4가지로 구분하여 모의하였으나, 본 발명은 지위지수에 대한 구분 없이 수종별, 임령별 부위별 비율을 이용하여 수종을 확장할 수 있다.

[0061] 한편, 우리나라의 경우 이러한 종들에 대해 세근의 생장이 잘 연구되지 않았기 때문에, 세근의 비율은 이전 연구들에 의해 다음과 같이 추정되었다.

[0062] 침엽수 종들에 대해 세근:주근 = 14:86 (Noh et al., 2013)

[0063] 활엽수 종들에 대해 세균:주균 = 11:89 (Millikin and Bledsoe, 1999)

[0064] 상기 각 부위별 단위 면적당 질량, 전체 면적, 및 탄소농도를 이용하여 임목 구획(100)에 저장된 임목 내 탄소량을 산출할 수 있다. 상기 탄소 농도는 48.0~50.7%일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

[0065] [표 3]의 파라미터, 임목 탄소 저장고의 회전율(turnover rate), 및 고사유기물 탄소 저장고의 분해율(decay rate)은 산림탄소 프로세스들을 시뮬레이션하는데 필요하다.

표 3

[0067]

Parameters	Values	Notes
<i>Turnover rate</i> (yr^{-1})		
Stem	0.002 ^{abcd}	Noh (2011)
	0.0045 ^{efgh}	Kurz et al. (1992)
Branch	Equation ^{abcd}	0.06 X exp(-0.09 X Branch); Lee et al. (unpublished)
	Equation ^{efgh}	0.05 X exp(-0.05 X Branch); Lee et al. (unpublished)
Foliage	Equation ^{abd}	0.66 X exp(-0.15 X Foliage); Lee et al. (unpublished)
	1 ^{cefg}	Assumption
Coarse root	0.02 ^{a-h}	Kurz et al. (1992)
Fine root	1.23 ^{abcd}	Park et al. (2010)
	0.695 ^{fh}	Park et al. (2006)
	1.195 ^{eg}	Park et al. (2006)
<i>Decay constant</i> (yr^{-1})		
AWDS	0.137 ^{abcd}	Noh (2011)
	0.058 ^{efgh}	Yoon et al. (2011)
AWDB	-	Mean value of the decay rates of AWDS and ALT
ALT	Equation ^{abcd}	0.025 X Mean annual temperature ($^{\circ}C$) (Lee et al., unpublished)
	Equation ^{efgh}	0.031 X Mean annual temperature ($^{\circ}C$) (Lee et al., unpublished)
BWD	0.137 ^{abcd}	Equal to the decay constant of AWDS
	0.058 ^{efgh}	Equal to the decay constant of AWDS
BLT	0.462 ^{a-bcd}	Kim (2002)
	0.400 ^{efgh}	Kim (2002)
AHUM & BHUM	0.012 ^{abcd}	Liski et al. (2005): standard value for fast HUM pool
	0.02 ^{efgh}	Liski et al. (2005): maximum value for fast HUM pool
SOC	0.0012 ^{abcd}	Liski et al. (2005): standard value for fast HUM pool
	0.0017 ^{efgh}	Liski et al. (2005): maximum value for fast HUM pool

[0068] (a: *Pinus densiflora*, b: *Pinus rigida*, c: *Larix kaempferi*, d: *Pinus koraiensis*, e: *Quercus variabilis*,

f: *Quercus mongolica*, g: *Quercus acutissima*, h: *Quercus serrata*)

- [0069] 지상 낙엽(ALT)의 분해율과, 가지와 잎의 회전율은 한국 전역의 48개 플롯에서 2년간 수집한 현장 조사 데이터에 의해 측정되었다. 다른 파라미터들의 대부분은 한국의 환경 조건 하에서의 생태 과정을 대표하기 위해 한국의 이전 연구에서 인용된다. 가지의 지상 나무 잔해(AWDB)의 분해율은 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)와 지상 낙엽(ALT)의 분해율의 평균값에 의해 결정되었는데, 가지의 지상 나무 잔해(AWDB)의 분해율이 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)와 지상 낙엽(ALT)의 분해율 범위 내에 있기 때문이다. 지하 나무 잔해(BWD) 분해율은 형태학적 특성의 유사성 때문에 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 분해율과 동일하다고 가정한다. 이러한 가정의 이유는 지하 나무 잔해(BWD)의 비율에 대한 경험적 연구의 부족이다. 다른 변수들은 한국에서 경험적 연구가 부족하기 때문에 여러가지 변수들이 인용되었다.
- [0070] FBDC 모델의 입력 데이터는 국가산림자원조사(NFI), 산림임상도, 및 기타 통계 데이터를 이용하여 각 그리드 셀(grid cell)의 대표 수종, 생장 조절자, 임령, 및 평균 대기 온도로 구성된다. 대표 수종은 주로 산림임상도에 의해 결정된다. 수종이 아닌 임상에 대한 정보만 있다면, 근접한 제5차 NFI 샘플링 플롯에서 지배적인 흉고단면적을 갖는 수종이 대표 수종으로 결정된다.
- [0071] 한편, 제5차 NFI에서 임분 체적과 임령의 16km^2 규모의 입력 데이터는 1km^2 규모에서 생장 조절자를 추정하기 위해 1km^2 -그리드 규모로 보간된다. 임령 자료가 없는 플롯의 경우, 임령은 영급 I, II, III, IV, V, 및 VI 각각에 대해 5, 15, 25, 35, 45, 및 55로 가정한다.
- [0072] 마지막으로 각 그리드 셀의 평균 초기 대기 온도는 한국의 75개 기상 관측소에서 1980년부터 2015년까지 관측된 연평균 기온의 평균값이다. 해발 고도에 의한 온도 감소율로 크리깅(kriging)법에 의해 0.01° ($\sim 1\text{km}^2$) 그리드 스케일로 보간되었다.
- [0073] 산림 임령을 재구성하는 것은 정확한 시뮬레이션을 위한 중요한 과정이다. 과거의 임령 정보가 부족했기 때문에 1973-2015년간 한국의 산림탄소 변화는 두 가지 시나리오로 시뮬레이션되었다. 스핀-업(spin-up) 시나리오는 시뮬레이션 기간 동안 일부 안정된 임분에 적용되었고, 복구(recovery) 시나리오는 역사 전반에 걸쳐 심각한 산림 황폐화를 경험한 대부분의 임분에 적용되었다.
- [0074] 도 2는 스핀 업 시나리오에서 각 저장고(지상부 임목, 지하부 임목, 낙엽, 고사목, 및 토양)의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타내고, 도 3은 산림 복구 시나리오에서 각 저장고의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타낸다.
- [0075] 산림 그리드 셀들은 이전 섹션에서 추정된 최근의 임령 정보로 각 그리드 셀의 임령에 따라 분류된다. 1973년 이전에 갱신되어 임령이 43년 이상이거나, 높은 고도(상위 10%)에 위치한 산림 셀들은 스핀-업 시나리오를 따르는 것으로 가정된다. 이러한 13,101개의 산림 그리드 셀들은 준-정상-상태(quasi-steady-state; 도 2)까지 20번의 반복을 위한 산림탄소 프로세스들을 수행하는 스핀-업 시나리오에 의해 시뮬레이션된다. 이 후, 산림탄소 프로세스들은 2015년에 임령에 의해 시뮬레이션된다. 한편, 다른 셀들은 복구 시나리오를 따른다. 산림 복구 시나리오에서 심각한 산림 벌채를 경험한 다른 47,463개의 그리드 셀도 스핀-업 시나리오에 의해 초기화되었다. 이 후, 심한 산림 황폐화를 고려하여, 지하부 부식질(BHUM)과 토양 유기 탄소(SOC)를 제외한 모든 탄소 저장고는 1954년에 0으로 가정되었다(도 3). 이 후, 임분의 최근 복구 이전까지 재생은 억제된 것으로 가정되었다. 지하부 부식질과 토양 유기 탄소는 임분 회복이 시작되기 전까지 계속 분해되었다. 임분이 회복된 후 임목과 고사유기물 등 탄소 저장량이 증가하기 시작하였다.
- [0076] 도 4는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 저장량을 나타내고, 도 5는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 흡수량을 나타낸다. 도 2와 도 3으로부터 초기(2015년) 탄소 저장량을 구하고, 본 발명의 국가 산림탄소 모델을 적용하여 도 4와 도 5에 도시된 바와 같이 국가 단위로 탄소 변화량을 예측할 수 있다.
- [0077] **GHG 완화 가능성 추정**
- [0078] 온실가스(greenhouse gases(GHG)) 완화의 가능성을 정량화하는 것은 파리 협약(UNFCCC, 2015)의 맥락에서 국제적으로 시기 적절한 이슈이다. 산림 부문은 온실가스 배출 완화에 기여할 수 있으며, 세계 사회는 이 분야의 완화 가능성을 정량화하기 시작했다. 특히, 간벌 및 기타 활동을 포함한 산림경영은 산림탄소 흡수를 강화하고 관리하는 가장 중요한 요소 중 하나로 알려져 있다(UNFCCC, 1997). 산림경영(예컨대, 간벌 및 개벌)은 실제로 다양한 역할을 수행한다. 간벌과 개벌은 재래 임업의 주요 구성요소인 목재를 주로 제공하고, 특히 간벌은 남아있는 임목들의 생장을 촉진한다. 생산된 목재는 산림 부문의 국가 탄소 인벤토리의 구성요소인 수확된 목제품 탄소 저장고로 고려된다. 게다가, 이러한 관행은 해충 발생 및 산불의 위험을 줄인다. 생장에 대한 촉진과 재해에

대한 역제는 또한 산림탄소 흡수를 유지하는데 기여한다. 최근 산림경영은 산림 생태계 서비스 향상의 유용성 덕분에 주목을 받았다.

[0079] 공간적 시뮬레이션 범위는 한국의 전체 산림을 대상으로 한다. 산림 면적은 60,564 셀들(각 1km^2)로 구성된다. FBDC 모델과 입력 데이터는 평균 기온을 제외하고 직접 사용된다. 초기 탄소 축적량(2015)은 도 2와 도 3으로부터 모델 시뮬레이션에 의해 결정되었다. 특히, 초기 탄소 축적량은 NFI 추정값과 비교하여 이미 검증되었기 때문에 과학적으로 신뢰성이 있다(Lee et al., 2014). 이 후, 간벌 실행에 의한 탄소 변화를 시뮬레이션하기 위해 [수학식 4]를 이용한다.

[0080] [수학식 4]는 국내에서 수행된 산림경영에 따른 임목 변화를 연구한 국내 논문들의 자료들을 메타분석하여 도출한 결과이다. 상기 메타분석은 개별 자료들을 모두 모아서 유의미한 결과로 종합해보는 작업을 의미한다. 여기서, [수학식 4]를 산림경영 시뮬레이션이라고 지칭한다.

[0081] 따라서, 산림경영에 따른 임목의 탄소 변화가 쉽게 정량화될 수 있는 효과가 있다. 또한, 국내에서 나온 연구문헌들을 종합하여 통계적 과정을 통해서 도출한 것이므로 활용성이 높고 과학적 기반도 있는 것이 특징이다.

[0082] [수학식 4]

$$RR(\%) = (100 - TI) + TI \times (1 - e^{(-0.045 \times RT)}) \quad (r^2 = 0.78)$$

[0084] 여기서, RR은 간벌되지 않은 임분에서의 줄기 체적과 간벌된 임분에서의 줄기 체적의 비율을 의미하고, TI(thinning intensity)는 간벌 강도를 의미하고, RT(recovery time)은 간벌 후 지난 시간을 의미한다.

[0085] 간벌 강도란 간벌량의 양적 표현 방법의 하나로 약도 간벌, 적도 간벌, 강도 간벌 등으로 구분한다. r^2 은 결정 계수로서 1에 가까울수록 정확도가 높다.

[0086] [표 1]과 [수학식 1]을 이용하여 계산한 수종별 임령에 따른 임분에서의 줄기 체적에 [수학식 4]의 RR을 곱하여 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적을 예측할 수 있다. 실시 예에 따라, [수학식 2]의 생장 조절자(GM)을 더 곱하여 수종별, 임령별, 지역별 간벌 실행에 의한 임분에서의 줄기 체적을 예측할 수 있다. 한편 간벌에 의한 벌채부산물(고사유기물) 또한 간벌 강도와 비례하여 추가적으로 유입된다.

[0087] 산림 생태계의 산림탄소 변화 이외에도, HWP 모듈이 FBDC 모델에 새로 추가되었다. 매년 수확된 목재는 관리 시나리오에 따라 간벌 또는 개별(clear cut)로 생산되고, HWP 저장고에 유입된다. 수확된 목제품의 탄소 축적량 즉, HWP 탄소 축적량(HWP_C)은 [수학식 5]로 나타낼 수 있다. 여기서 [수학식 5]는 목재 관리 시뮬레이션이라고 지칭한다.

[0088] [수학식 5]

$$HWP_C_t = 0.98 \times HWP_C_{t-1} + \text{Harvested timber}_t$$

[0090] 여기서, HWP_C_t 는 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, 0.98은 상기 목제품에서 연간 방출되는 탄소량(약 2%)을 반영하기 위하여 도출된 상수이고, HWP_C_{t-1} 는 직전년의 수확된 목제품의 탄소 축적량을 의미하고, $\text{Harvested timber}_t$ 는 매년 벌채되는 목재의 탄소량을 의미한다. 0.98은 국립산림과학원(2013)의 연구보고서에서 제시한 목제품 종류별 반감기 등을 가중평균 낸 값이다.

[0091] 그 다음, 기후변화 및 산림경영 시나리오가 모델에 적용된다.

[0092] 본 명세서에서는 일정한 기후(CC) 시나리오와 RCP 8.5 시나리오의 두 가지 기후 시나리오가 적용되었다. RCP 8.5 시나리오는 2015년부터 2050년까지 매년 1km^2 의 공간 해상도로 준비되었다. 일정한 기후 시나리오는 2015년의 연평균 기온이 2050년까지 계속된다고 가정했다. 이러한 기후 시나리오는 FBDC 모델에서 고사유기물 등(낙엽, 고사목, 및 토양)의 분해율에 영향을 미쳤다.

[0093] 온실가스 완화 가능성에 대한 산림경영 체제의 효과를 평가하기 위한 5가지 관리 옵션이 준비된다: 관리하지 않음, 매 20년마다 30% 강도로 부분 벌채, 주기적으로 간벌하는 40년 간격 개별, 주기적으로 간벌하는 60년 간격 개별, 주기적으로 간벌하는 80년 간격 개별. 매 20년 간격으로 간벌하고, 간벌 강도는 임령 20년, 40년, 및 60년 각각에서 30%, 15%, 및 15%였다. 시뮬레이션에서 간벌 및 개별 시 벌채부산물(예컨대, 부러진 가지들, 낙엽,

및 죽은 뿌리들)가 산림에 남아있을 때, 줄기가 수확되었다.

[0094] 마지막으로, 기후변화와 산림경영 옵션의 10가지 조합이 개발되었다(표 4).

표 4

Scenario	Climate change	Management on the forest area of each class		
		Class I	Class II	Class III
Con_CC	0	No	No	No
Con_RCP 8.5	X	No	No	No
PC_CC	0	PC	PT	No
PC_RCP 8.5	X	PC	PT	No
YR40_CC	0	40-year-interval HC	PT	No
YR40_RCP 8.5	X	40-year-interval HC	PT	No
YR60_CC	0	60-year-interval HC	PT	No
YR60_RCP 8.5	X	60-year-interval HC	PT	No
YR80_CC	0	80-year-interval HC	PT	No
YR80_RCP 8.5	X	80-year-interval HC	PT	No

[0096] PT: periodic tending for every 20 years with 15% intensity; PC: partial cutting for every 20 years with 30% intensity; HC: harvest by clearcutting

[0097] 산림 지역을 세 가지 등급으로 분류하여 산림경영의 실행 가능성을 고려했다. 1등급, 2등급, 및 3등급은 산림 도로에서 각각 0-500m, 500-2000m, 2000m 이상으로 구분되었다(산림청). 1등급의 숲은 재래식 임업으로 관리되는 것으로 가정한다. 2등급의 숲은 산림 생태계 기능을 유지하기 위해 15% 강도로 주기적으로 관리하는 것으로 가정한다. 3등급의 숲은 물리적으로 접근하기 어렵기 때문에 관리되지 않는다고 가정한다.

[0098] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 산림탄소를 모델링하는 방법을 설명하기 위한 플로우차트이다. 실시 예에 따라, 본 발명의 산림탄소를 모델링하는 방법을 수행하기 위해 컴퓨터로 구현되는 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 컴퓨터가 관독 가능한 명령을 실행하도록 구현되는 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 국가산림자원조사 자료를 이용하여 줄기의 생장 함수를 계산하고, 상기 자료와 상대생장 함수(allometric functions)를 이용하여 다른 부위(가지, 잎, 뿌리)의 비율을 계산하고, 상기 줄기의 생장 함수와 상기 다른 부위의 비율을 이용하여 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량(biomass C stocks)을 산출한다.

[0099] 현장 측정(field measurement)과 문헌 조사(literature review)를 통해 임목 탄소 저장고의 회전율(turnover rates)과 고사유기물 등 탄소 저장고의 분해율(decay rates)을 추정한다.

[0100] 임목 구획에 저장된 임목 내 탄소량, 임목 탄소 저장고의 회전율, 및 고사유기물 등 탄소 저장고의 분해율을 이용하여 고사유기물 구획의 탄소(DOM C)를 결정한다.

[0101] 구체적으로, 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 탄소 축적량과 탄소 변화량은 이전 년도의 줄기의 탄소 축적량, 상기 줄기의 회전율, 및 상기 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 분해율(decay rate)을 이용하여 측정된다(수학식 6, 수학식 7).

[0102] [수학식 6]

[0103] 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 탄소 축적량 = 이전 년도 AWDS의 탄소 축적량 * (1-AWDS의 분해율) + (이전 년도 줄기의 탄소 축적량 * 줄기의 회전율)

[0104] [수학식 7]

[0105] 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 탄소 축적 변화량 = - 이전 년도 AWDS의 탄소 축적량 * AWDS의 분해율 + (이전 년도 줄기의 탄소 축적량 * 줄기의 회전율)

[0106] 지상 나무 잔해(AWDB)의 탄소 축적량은 이전 년도의 가지의 탄소 축적량, 상기 가지의 회전율, 및 상기 가지의 지상 나무 잔해(AWDB)의 분해율을 이용하여 측정된다.

[0107] 지상 낙엽(ALT)의 탄소 축적량은 이전 년도의 잎의 탄소 축적량, 상기 잎의 회전율, 및 상기 지상 낙엽의 분해율을 이용하여 측정된다.

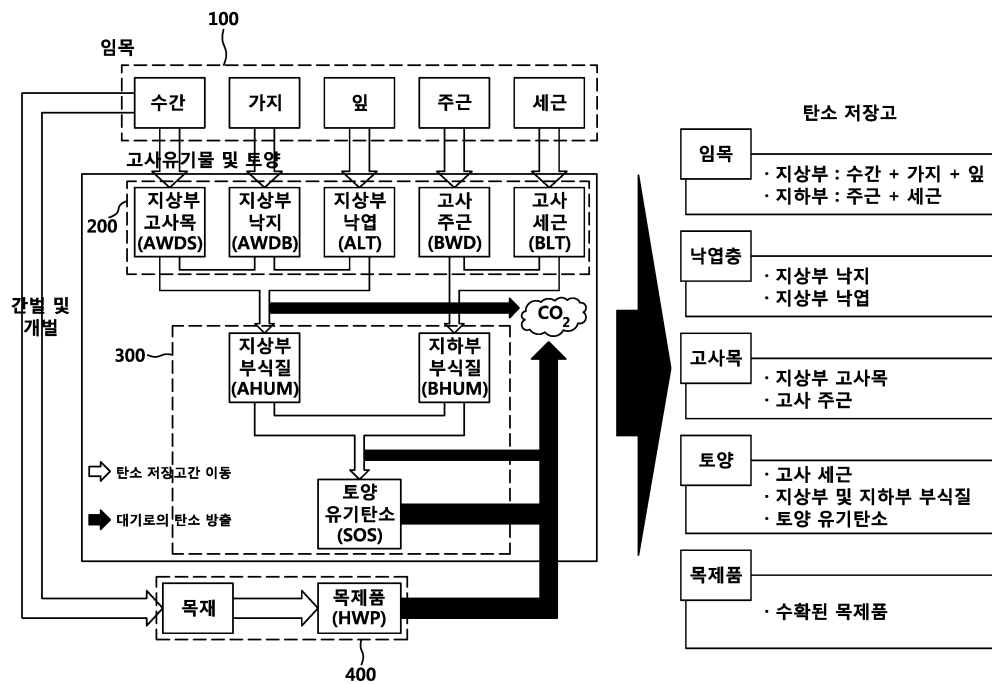
- [0108] 지하 나무 잔해(BWD)의 탄소 축적량은 이전 년도의 주근의 탄소 축적량, 상기 주근의 회전율, 및 상기 지하 나무 잔해의 분해율을 이용하여 측정된다.
- [0109] 지하 낙엽(BLT)의 탄소 축적량은 이전 년도의 세근의 탄소 축적량, 상기 세근의 회전율, 및 상기 지하 낙엽의 분해율을 이용하여 측정된다.
- [0110] 지상부 부식질(aboveground humus(AHUM)) 탄소 저장량은 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 탄소 축적량, 가지의 지상 나무 잔해(AWDB)의 탄소 축적량, 상기 지상 낙엽(ALT)의 탄소 축적량, 상기 줄기 및 가지의 나무 잔해와 지상 낙엽의 분해율, 및 지상부 부식질 분해율을 이용하여 측정되고, 지하부 부식질(belowground humus(BHUM)) 탄소 저장량은 지하 나무 잔해(BWD)의 탄소 축적량, 지하 낙엽(BLT)의 탄소 축적량, 상기 지하 나무 잔해 및 지하 낙엽의 분해율, 및 지하부 부식질의 분해율을 이용하여 측정된다.
- [0111] 토양 유기 탄소(soil organic C(SOC))의 탄소 축적량은 지상부 부식질(AHUM)의 탄소 축적량, 지하부 부식질(BHUM)의 탄소 축적량, 상기 지상부 및 지하부 부식질의 분해율, 및 토양 유기 탄소(SOC)의 분해율을 이용하여 측정된다.
- [0112] 다시 도 1을 참조하면, 탄소 저장고는 임목, 낙엽층, 고사목, 토양, 및 수확된 목제품으로 세분화할 수 있다. 상기 임목의 탄소 축적량은 줄기(stem), 가지(branch), 잎(foliage) 각각의 탄소 축적량(지상부)과 지하부의 주근(coarse root), 세근(fine root) 각각의 탄소 축적량(지하부)을 포함한다.
- [0113] 상기 낙엽층의 탄소 축적량은 가지의 지상 나무 잔해(AWDB)의 탄소 축적량과 지상 낙엽(ALT) 각각의 탄소 축적량을 포함한다.
- [0114] 상기 고사목의 탄소 축적량은 줄기의 지상 나무 잔해(AWDS)의 탄소 축적량과 지하 나무 잔해(BWD) 각각의 탄소 축적량을 포함한다.
- [0115] 상기 토양의 탄소 축적량은 지하 낙엽(BLT)의 탄소 축적량, 지상부 부식질(AHUM), 지하부 부식질(BHUM) 각각의 탄소 축적량, 및 토양 유기 탄소(SOC)의 탄소 축적량을 포함한다.
- [0116] 상기 수확된 목제품의 탄소 축적량은 수확된 목제품(HWP)의 탄소 축적량을 포함한다.
- [0117] 따라서, 산림탄소 저장고 확장을 통해 모델을 고도화 할 수 있는 효과가 있다.

부호의 설명

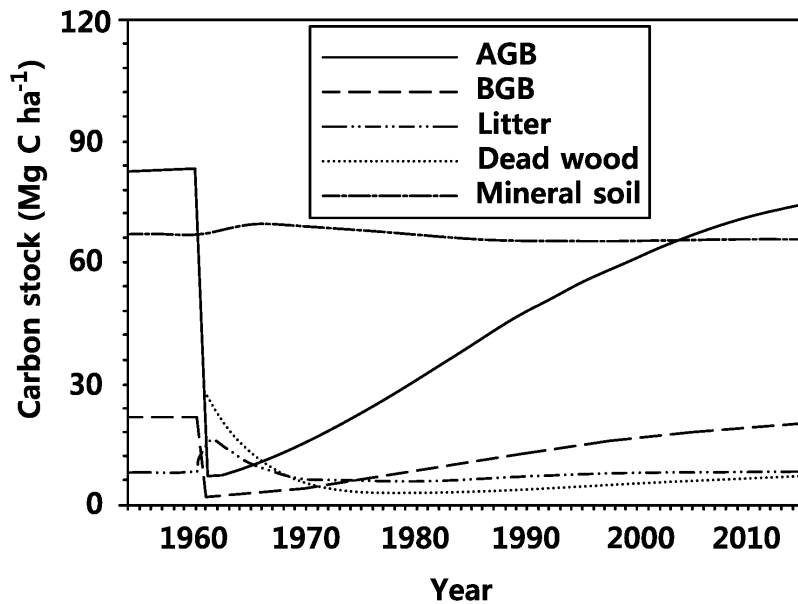
- [0118] 10; FBDC 모델
- 100; 임목 구획
- 200; 1차 고사유기물 물질 구획
- 300; 2차 고사유기물 물질 구획
- 400; 목제품

도면

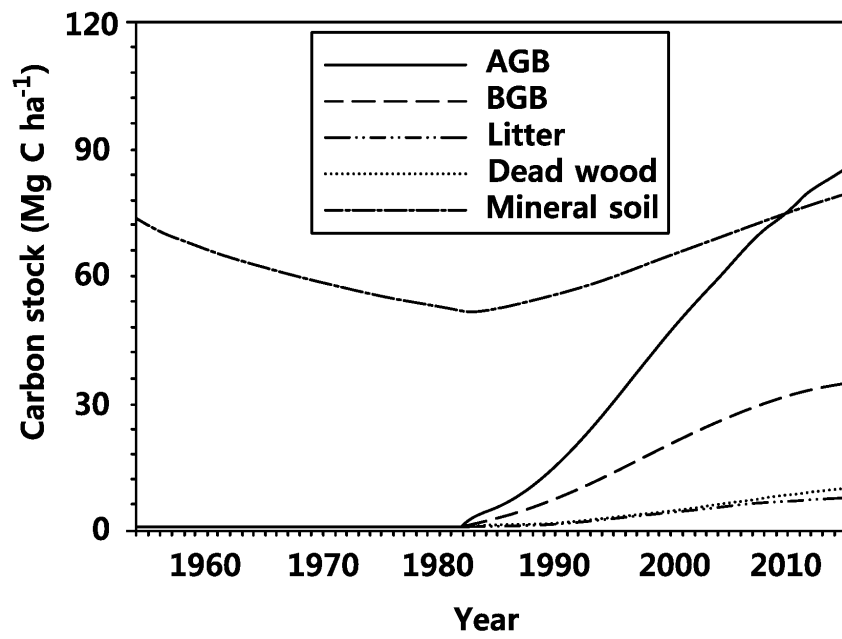
도면1



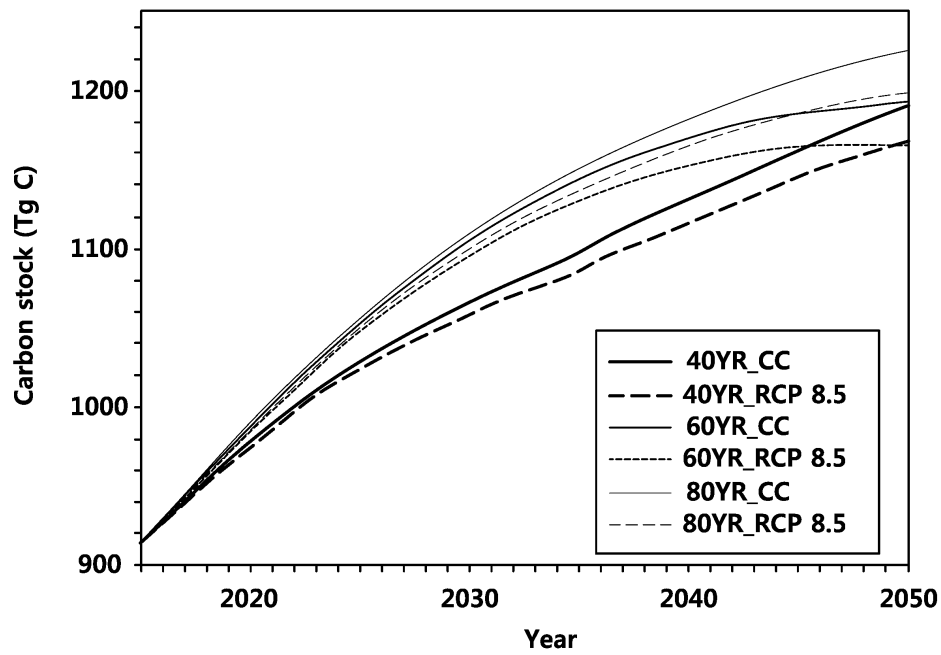
도면2



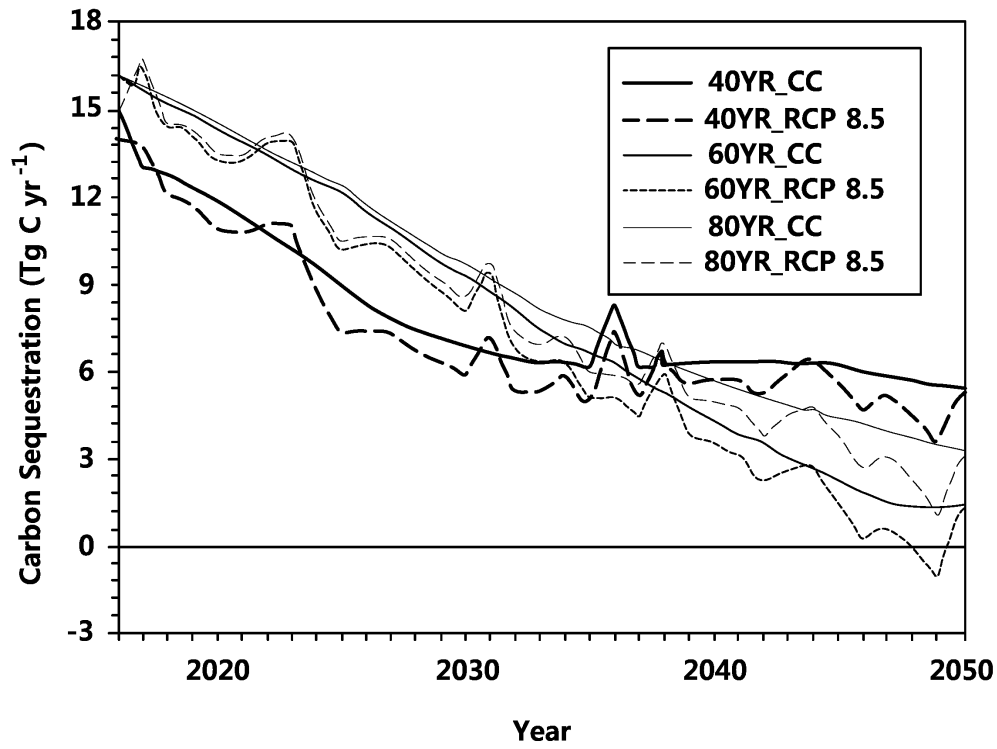
도면3



도면4



도면5



도면6

