



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0098301
(43) 공개일자 2020년08월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/00 (2020.01) G01W 1/02 (2006.01)
G06Q 50/02 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G01W 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0016256
(22) 출원일자 2019년02월12일
심사청구일자 2019년02월12일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
손요환
서울특별시 성북구 종암로9길 71, 204동 2002호
(현대아이파크2차아파트)
김형섭
서울특별시 성북구 안암로9가길 76, 505호
(뫼뫼에 계속)
(74) 대리인
백두진, 김정연, 유광철, 강일신

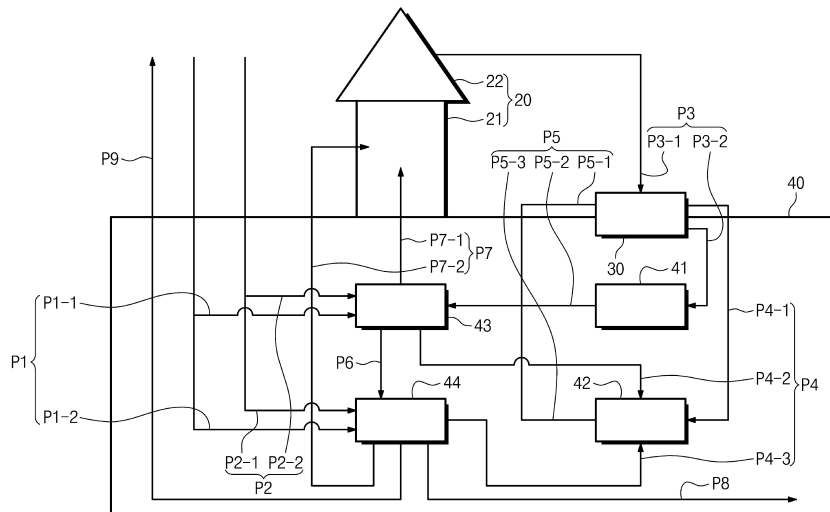
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 산림 질소 모델링 시스템 및 이를 반영한 산림 탄소/질소 모델링 시스템

(57) 요약

본 발명은 산림의 저장고를 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고로 정의하는 저장고 정의부; 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이의 질소 이동 경로를 정의하는 경로 정의부; 및 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이에서 정의된 복수의 이동 경로 각각에서 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 저장량 연산부; 를 포함하는 산림 질소 모델링 시스템 및 이를 반영한 산림 탄소/질소 모델링 시스템을 개시한다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

G06Q 50/02 (2013.01)

김성준

부산광역시 연제구 금련로 48-6

(72) 발명자

이종열

경기도 과천시 별양로 12, 303동 1401호 (래미안슈르아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017044B10-1719-BB01

부처명 산림청

연구관리전문기관 한국임업진흥원

연구사업명 산림과학기술 연구개발사업

연구과제명 신기후체제 대응 산림분야 국가 온실가스 인벤토리 산정체계 및 탄소계정 고도화 연구

기 여 율 6/10

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2017.03.31 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014001310008

부처명 환경부

연구관리전문기관 한국환경산업기술원

연구사업명 기후변화대응 환경기술개발사업

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

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018R1A2B6001012

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 산림 질소 동태 모델 개발 및 한국형 산림 탄소 모델과의 결합 연구

기 여 율 2/10

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

산림의 저장고를 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고로 정의하는 저장고 정의부;

상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이의 질소 이동 경로를 정의하는 경로 정의부; 및

상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이에서 정의된 복수의 이동 경로 각각에서 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 저장량 연산부; 를 포함하는 산림 질소 모델링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 저장고 정의부는

상기 토양 저장고가 부식 저장고, 미생물 저장고, 암모늄 저장고 및 질산 저장고를 포함하는 것으로 정의하는 산림 질소 모델링 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 경로 정의부에서 정의된 복수의 질소 이동 경로는

대기에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제1-1경로 및 상기 대기에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 제1-2경로를 포함하고, 질소 강하물 유입 경로로 정의되는 제1경로,

상기 대기에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제2-1경로 및 상기 대기에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 제2-2경로를 포함하고, 생물학적 질소 고정 경로로 정의되는 제2경로,

상기 임목 저장고에서 상기 고사 유기물 저장고로 질소가 이동하는 제3-1경로 및 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 부식 저장고로 질소가 이동하는 제3-2경로를 포함하고, 전환량으로 정의되는 제3경로, 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-1경로, 상기 암모늄 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-2경로 및 상기 질산 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-3경로를 포함하고, 질소 부동화 경로로 정의되는 제4경로,

상기 고사 유기물 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-1경로, 상기 부식 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-2경로 및 상기 미생물 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-3경로를 포함하고, 질소 무기화 경로로 정의되는 제5경로,

상기 암모늄 저장고에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 질산화 경로로 정의되는 제6경로,

상기 암모늄 저장고에서 상기 임목 저장고로 질소가 이동하는 제7-1경로 및 상기 질산 저장고에서 상기 임목 저장고로 질소가 이동하는 제7-2경로를 포함하고, 임목의 질소 흡수 경로로 정의되는 제7경로,

상기 질산 저장고에서 수계로 질소가 이동하는 수계의 질소 유출 경로로 정의되는 제8경로 및

상기 질산 저장고에서 대기로 질소가 이동하는 탈질 작용 경로로 정의되는 제9경로를 포함하는 산림 질소 모델링 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 경로 정의부는

상기 제1경로 및 제2경로를 외부에서 산림의 저장고로 질소가 유입되는 경로로 정의하고,

상기 제3경로 내지 상기 제7경로를 산림의 저장고 내에서 질소가 순환하는 경로로 정의하고,

상기 제8경로 및 상기 제9경로를 산림의 저장고에서 외부로 질소가 유출되는 경로로 정의하는 산림 질소 모델링 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 저장량 연산부는

특정 시점(t)에서 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 각각에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 산림 질소 모델링 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 임목 저장고에 저장된 질소의 저장량은 하기 수학적식1을 통해 연산되고,

상기 고사 유기물 저장고에 저장된 질소의 저장량은 하기 수학적식2를 통해 연산되고,

상기 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량은 하기 수학적식3을 통해 연산되는 산림 질소 모델링 시스템.

[수학적식1]

임목 저장고_t = 임목 저장고_{t-1} + 제7-1경로의 질소 이동량 + 제7-2경로의 질소 이동량 - 제3-1경로의 질소 이동량(여기서, 임목 저장고_t는 특정 시점(t)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타내고, 임목 저장고_{t-1}은 특정 시점(t) 이전 시점(t-1)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타냄)

[수학적식2]

고사 유기물 저장고_t = 고사 유기물 저장고_{t-1} - 제5-1경로의 질소 이동량 - 제3-2경로의 질소 이동량 - 제4-1경로의 질소 이동량 + 제3-1경로의 질소 이동량

[수학적식 3]

토양 저장고_t = 부식 저장고_t + 미생물 저장고_t + 미생물 저장고_t + 암모늄 저장고_t + 질산 저장고_t

부식 저장고_t = 부식 저장고_{t-1} - 제5-2경로의 질소 이동량 + 제3-2경로의 질소 이동량

미생물 저장고_t = 미생물 저장고_{t-1} - 제5-3경로의 질소 이동량 + 제4-1경로의 질소 이동량 + 제4-2경로의 질소 이동량 + 제4-3경로의 질소 이동량

암모늄 저장고_t = 제1-1경로의 질소 이동량 + 제2-1경로의 질소 이동량 - 제6경로의 질소 이동량 - 제7-1경로의 질소 이동량 + 제5-1경로의 질소 이동량 + 제5-2경로의 질소 이동량 + 제5-3경로의 질소 이동량 - 제4-2경로의 질소 이동량

질산 저장고_t = 제1-2경로의 질소 이동량 + 제2-2경로의 질소 이동량 + 질산 저장고_{t-1} + 제6경로의 질소 이동량 - 제7-2경로의 질소 이동량 - 제8경로의 질소 이동량 - 제9경로의 질소 이동량 - 제4-3경로의 질소 이동량

청구항 7

산림의 질소 및 탄소 저장고를 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고로 정의하고, 상기 임목 저장고가 목질부 저장고와 잎 저장고를 포함하는 것으로 정의하는 저장고 정의부;

상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이의 질소 및 탄소의 이동 경로를 정의하는 경로 정의부;

상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이에서 정의된 복수의 이동 경로 각각에서 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 저장량 연산부; 및

상기 목질부 저장고의 탄질률을 기준으로 상기 임목 저장고에서의 질소 흡수량을 예측하고, 상기 잎 저장고의 탄질률을 기준으로 상기 임목 저장고에서의 탄소 흡수량을 예측하고, 상기 고사 유기물 저장고의 탄질률을 기준으로 상기 유기물 저장고에서의 질소 이동량을 예측하는 순환량 예측부; 를 포함하는 산림 탄소 및 질소 모델링 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 순환량 예측부는

상기 목질부 저장고의 탄질률에 비례하여 상기 임목 저장고에서의 질소 흡수량을 예측하고,

상기 잎 저장고의 탄질률에 반비례하여 상기 임목 저장고에서의 탄소 흡수량을 예측하고,

상기 고사 유기물 저장고의 탄질률에 반비례하여 상기 유기물 저장고에서의 질소 이동량을 예측하는 산림 탄소 및 질소 모델링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산림 질소 모델링 시스템 및 이를 반영한 산림 탄소/질소 모델링 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산림은 주요한 탄소 흡수 및 배출원이며, 이에 따라 과학적으로 신뢰도 높은 산림 탄소 흡수 및 배출 잠재력 정량화와 국가 탄소 인벤토리 보고의 필요성이 증가하고 있다.

[0003] 이러한 산림의 탄소 흡수 및 배출 과정은 질소 순환 과정과 밀접한 연관이 있다. 임목의 광합성(이산화탄소 흡수 과정)은 토양의 질소 유효도에 따라 제한될 수 있고, 고사유기물의 분해 속도는 고사유기물의 탄소와 질소 함량에 따라 결정되기 때문이다.

[0004] 그러나 기존의 한국형 산림 탄소 모델은 질소 순환이 탄소 순환에 미치는 영향을 모의하지 않아 모의의 불확실성이 존재한다.

[0005] 또한, 산림은 주요한 질소 흡수 및 배출원이다.

[0006] 이러한 산림에 저장된 질소는 식생의 양분 역할을 하는 반드시 필요한 원소이나, 질소가 아산화질소가 되어 대기 중으로 배출될 경우 지구온난화가 가속화될 수 있다. 따라서 산림의 질소 저장량과 저장량 변화에 대한 모니터링이 필요한 상황이나, 국내에서는 전국 단위의 산림 질소 저장량 변화를 정량화한 사례가 없다.

[0007] 한편, 도 1 내지 도 6을 참조하면, 종래의 산림 탄소 모델은 산림 탄소 순환을 모의하고 국가 온실가스 인벤토리를 보고할 수 있지만 크게 두 가지 한계점을 가지고 있다.

[0008] 첫 번째로 질소가 산림 탄소 순환에 미치는 영향을 모의하지 못한다. 질소는 식물의 탄소 흡수 과정과 고사유기물의 분해 속도를 조절하여 산림 탄소 순환을 변화시킬 수 있다. 그러나 기존의 기술은 질소가 탄소 순환에 미치는 영향을 고려하지 않기 때문에 산림탄소 순환 모의에 불확실성이 존재한다.

[0009] 두 번째로 기존의 기술은 산림 질소 저장량 및 그 변화를 모의할 수 없다. 즉, 산림 토양의 질소 양분 보유량 변화와 산림부문 국가 온실가스 인벤토리 보고 항목인 아산화질소 배출을 모의할 수 없다. 특히 아산화질소는 온실효과를 일으키는 능력이 이산화탄소의 약 300배에 해당하여 정량화의 필요성이 크다고 할 수 있으나, 기존의 기술은 이에 대한 모의가 불가능한 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전국 단위에서 산림의 질소 저장량과 그 변화를 정량화하여 산림의 질소 양분 보유 상태와 아산화질소 배출량을 정량화할 수 있는 산림 질소 모델링 시스템 및 이를 반영한 산림 탄소/질소 모델링 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 실시예에 따른 산림 질소 모델링 시스템은 산림의 저장고를 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고로 정의하는 저장고 정의부; 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이의 질소 이동 경로를 정의하는 경로 정의부; 및 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이에서 정의된 복수의 이동 경로 각각에서 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 저장량 연산부; 를 포함한다.

[0013] 상기 저장고 정의부는 상기 토양 저장고가 부식 저장고, 미생물 저장고, 암모늄 저장고 및 질산 저장고를 포함하는 것으로 정의할 수 있다.

[0014] 상기 경로 정의부에서 정의된 복수의 질소 이동 경로는 대기에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제1-1경로 및 상기 대기에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 제1-2경로를 포함하고, 질소 강하물 유입 경로로 정의되는 제1경로, 상기 대기에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제2-1경로 및 상기 대기에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 제2-2경로를 포함하고, 생물학적 질소 고정 경로로 정의되는 제2경로, 상기 임목 저장고에서 상기 고사 유기물 저장고로 질소가 이동하는 제3-1경로 및 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 부식 저장고로 질소가 이동하는 제3-2경로를 포함하고, 전환량으로 정의되는 제3경로, 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-1경로, 상기 암모늄 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-2경로 및 상기 질산 저장고에서 상기 미생물 저장고로 질소가 이동하는 제4-3경로를 포함하고, 질소 부동화 경로로 정의되는 제4경로, 상기 고사 유기물 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-1경로, 상기 부식 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-2경로 및 상기 미생물 저장고에서 상기 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-3경로를 포함하고, 질소 무기화 경로로 정의되는 제5경로, 상기 암모늄 저장고에서 상기 질산 저장고로 질소가 이동하는 질산화 경로로 정의되는 제6경로, 상기 암모늄 저장고에서 상기 임목 저장고로 질소가 이동하는 제7-1경로 및 상기 질산 저장고에서 상기 임목 저장고로 질소가 이동하는 제7-2경로를 포함하고, 임목의 질소 흡수 경로로 정의되는 제7경로, 상기 질산 저장고에서 수계로 질소가 이동하는 수계의 질소 유출 경로로 정의되는 제8경로 및 상기 질산 저장고에서 대기로 질소가 이동하는 탈질 작용 경로로 정의되는 제9경로를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 경로 정의부는 상기 제1경로 및 제2경로를 외부에서 산림의 저장고로 질소가 유입되는 경로로 정의하고, 상기 제3경로 내지 상기 제7경로를 산림의 저장고 내에서 질소가 순환하는 경로로 정의하고, 상기 제8경로 및 상기 제9경로를 산림의 저장고에서 외부로 질소가 유출되는 경로로 정의할 수 있다.

[0016] 상기 저장량 연산부는 특정 시점(t)에서 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 각각에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.

[0017] 상기 임목 저장고에 저장된 질소의 저장량은 하기 수식식1을 통해 연산되고, 상기 고사 유기물 저장고에 저장된

질소의 저장량은 하기 수학적식2를 통해 연산되고, 상기 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량은 하기 수학적식3을 통해 연산될 수 있다.

- [0018] [수학적식1]
- [0019] 임목 저장고_t = 임목 저장고_{t-1} + 제7-1경로의 질소 이동량 + 제7-2경로의 질소 이동량 - 제3-1경로의 질소 이동량(여기서, 임목 저장고_t는 특정 시점(t)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타내고, 임목 저장고_{t-1}은 특정 시점(t) 이전 시점(t-1)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타냄)
- [0020] [수학적식2]
- [0021] 고사 유기물 저장고_t = 고사 유기물 저장고_{t-1} - 제5-1경로의 질소 이동량 - 제3-2경로의 질소 이동량 - 제4-1경로의 질소 이동량 + 제3-1경로의 질소 이동량
- [0022] [수학적식 3]
- [0023] 토양 저장고_t = 부식 저장고_t + 미생물 저장고_t + 미생물 저장고_t + 암모늄 저장고_t + 질산 저장고_t
- [0024] 부식 저장고_t = 부식 저장고_{t-1} - 제5-2경로의 질소 이동량 + 제3-2경로의 질소 이동량
- [0025] 미생물 저장고_t = 미생물 저장고_{t-1} - 제5-3경로의 질소 이동량 + 제4-1경로의 질소 이동량 + 제4-2경로의 질소 이동량 + 제4-3경로의 질소 이동량
- [0026] 암모늄 저장고_t = 제1-1경로의 질소 이동량 + 제2-1경로의 질소 이동량 - 제6경로의 질소 이동량 - 제7-1경로의 질소 이동량 + 제5-1경로의 질소 이동량 + 제5-2경로의 질소 이동량 + 제5-3경로의 질소 이동량 - 제4-2경로의 질소 이동량
- [0027] 질산 저장고_t = 제1-2경로의 질소 이동량 + 제2-2경로의 질소 이동량 + 질산 저장고_{t-1} + 제6경로의 질소 이동량 - 제7-2경로의 질소 이동량 - 제8경로의 질소 이동량 - 제9경로의 질소 이동량 - 제4-3경로의 질소 이동량
- [0028] 한편, 산림 질소 모델링 시스템을 반영한 산림 탄소 및 질소 모델링 시스템은 산림의 질소 및 탄소 저장고를 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고로 정의하고, 상기 임목 저장고가 목질부 저장고와 잎 저장고를 포함하는 것으로 정의하는 저장고 정의부; 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이의 질소 및 탄소의 이동 경로를 정의하는 경로 정의부; 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고 사이에서 정의된 복수의 이동 경로 각각에서 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 상기 임목 저장고, 고사 유기물 저장고 및 토양 저장고에 저장된 질소의 저장량을 연산하는 저장량 연산부; 및 상기 목질부 저장고의 탄질물을 기준으로 상기 임목 저장고에서의 질소 흡수량을 예측하고, 상기 잎 저장고의 탄질물을 기준으로 상기 임목 저장고에서의 탄소 흡수량을 예측하고, 상기 고사 유기물 저장고의 탄질물을 기준으로 상기 유기물 저장고에서의 질소 이동량을 예측하는 순환량 예측부; 를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 순환량 예측부는 상기 목질부 저장고의 탄질물에 비례하여 상기 임목 저장고에서의 질소 흡수량을 예측하고, 상기 잎 저장고의 탄질물에 반비례하여 상기 임목 저장고에서의 탄소 흡수량을 예측하고, 상기 고사 유기물 저장고의 탄질물에 반비례하여 상기 유기물 저장고에서의 질소 이동량을 예측할 수 있다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명의 실시예에 따르면, 전국 단위에서 산림의 질소 저장량과 그 변화를 정량화하여 산림의 질소 양분 보유 상태와 아산화질소 배출량을 정량화할 수 있다.
- [0031] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0032] 도 1은 종래의 탄소 모델에서 FBDC(forest biomass and dead organic matter carbon) 모델의 구조를 개념화한 도면이고,

도 2는 종래의 탄소 모델에서 스핀 업 시나리오에서 각 저장고의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타낸 것이고,
 도 3은 종래의 탄소 모델에서 산림 복구 시나리오에서 각 저장고의 탄소 변화 모의의 실시 예를 나타낸 것이고,
 도 4는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 저장량을 나타낸 것이며, 도 5는 산림탄소 모델 구동 결과 산림탄소 흡수량을 나타낸 것이고,
 도 6은 종래의 탄소 모델에 따른 산림탄소를 모델링하는 방법을 설명하기 위한 플로우 차트이고,
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템을 개략적으로 나타낸 블록도이고,
 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 정의된 저장고 및 질소 이동 경로를 개략적으로 나타내는 예시도이고,
 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 탄소/질소 순환 과정을 개략적으로 나타내는 예시도이고,
 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 도출된 질소 저장량 값과 실제 측정된 질소 저장량을 비교한 그래프이고,
 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템의 탄소 저장량 추정치와 종래의 탄소 모델 추정치를 실측값과 비교한 그래프이고,
 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 각 저장소 별 탄소 및 질소 저장량을 도출한 결과 값을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0034] 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시 예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명 시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다.
- [0035] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템을 개략적으로 나타낸 블록도이고, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 정의된 저장고 및 질소 이동 경로를 개략적으로 나타내는 예시도이고, 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 탄소/질소 순환 과정을 개략적으로 나타내는 예시도이고, 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 도출된 질소 저장량 값과 실제 측정된 질소 저장량을 비교한 그래프이고, 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템의 탄소 저장량 추정치와 종래의 탄소 모델 추정치를 실측값과 비교한 그래프이고, 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템에서 각 저장소 별 탄소 및 질소 저장량을 도출한 결과 값을 나타낸 그래프이다.
- [0036] 우선, 도 7 및 도 8을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)은 저장고 정의부(11), 경로 정의부(12), 저장량 연산부(13) 및 순환량 예측부(14)를 포함할 수 있다.
- [0037] 저장고 정의부(11)는 질소 및 탄소가 저장되는 산림의 저장고를 구분하여 정의할 수 있다.
- [0038] 저장고 정의부(11)는 산림의 저장고를 임목 저장고(20), 고사 유기물 저장고(30) 및 토양 저장고(40)로 정의할 수 있다.
- [0039] 여기서, 저장고 정의부(11)는 임목 저장고(20)가 목질부 저장고(21) 및 잎 저장고(22)를 포함하는 것으로 정의할 수 있다.
- [0040] 또한, 저장고 정의부(11)는 토양 저장고(40)가 부식 저장고(41), 미생물 저장고(42), 암모늄 저장고(43) 및 질산 저장고(44)를 포함하는 것으로 정의할 수 있다.

- [0041] 임목 저장고(20)는 도 1의 임목 구획(100)과 같이 줄기(stem), 가지(branch), 잎(foliage), 굵은 뿌리(coarse root; 주근), 및 가는 뿌리(fine root; 세근)를 포함할 수 있다.
- [0042] 여기서, 저장고 정의부(11)는 잎을 제외한 줄기, 가지, 굵은 뿌리 및 가는 뿌리의 저장고를 목질부 저장고(21)로 정의할 수 있다.
- [0043] 고사 유기물 저장고(30)는 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 포함할 수 있다.
- [0044] 여기서, 토양 저장고(40)의 부식 저장고(41)는 부식 과정에 소요되는 질소의 저장고로 정의될 수 있고, 토양 저장고(40)의 미생물 저장고(42)는 미생물 중에서 질소를 고정하는 미생물에 의한 질소 저장고로 정의될 수 있고, 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)는 토양 중 암모늄(NH_4^+) 형태로 저장되는 질소 저장고로 정의될 수 있고, 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)는 토양 중 질산(NO_3^-) 형태로 저장되는 질소 저장고로 정의될 수 있다.
- [0045] 경로 정의부(12)는 임목 저장고(20), 고사 유기물 저장고(30) 및 토양 저장고(40) 사이의 질소의 이동 또는 순환 경로를 각각 정의할 수 있다.
- [0046] 또한, 경로 정의부(12)는 대기에서 유입되는 질소의 경로 및 외부로 유출되는 질소의 경로를 정의할 수 있다.
- [0047] 도 8을 참조하면, 경로 정의부(12)는 대기에서 토양 저장고(40)로 질소가 유입되는 경로(P1, P2)를 정의하고, 산림의 저장고(20, 30, 40) 내에서 질소가 순환하는 경로(P2, P3, P4, P5, P6, P7)를 정의하고, 토양 저장고(40)에서 외부 질소가 유출되는 경로(P8, P9)를 정의할 수 있다.
- [0048] 상세하게 경로 정의부(12)는 대기에서 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)로 질소가 이동하는 제1-1경로(P1-1) 및 대기에서 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)로 질소가 이동하는 제1-2경로(P1-2)를 포함하는 질소 강하물 유입 경로로 제1경로(P1)를 정의할 수 있다.
- [0049] 또한, 경로 정의부(12)는 대기에서 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)로 질소가 이동하는 제2-1경로(P2-1) 및 대기에서 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)로 질소가 이동하는 제2-2경로(P2-2)를 포함하는 생물학적 질소 고정 경로로 제2경로(P2)를 정의할 수 있다.
- [0050] 또한, 경로 정의부(12)는 임목 저장고(20)에서 고사 유기물 저장고(30)로 질소가 이동하는 제3-1경로(P3-1) 및 고사 유기물 저장고(30)에서 토양 저장고(40)의 부식 저장고(41)로 질소가 이동하는 제3-2경로(P3-2)를 포함하는 전환량 경로로 제3경로(P3)를 정의할 수 있다.
- [0051] 또한, 경로 정의부(12)는 고사 유기물 저장고(30)에서 토양 저장고(40)의 미생물 저장고(42)로 질소가 이동하는 제4-1경로(P4-1), 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)에서 토양 저장고(40)의 미생물 저장고(42)로 질소가 이동하는 제4-2경로(P4-2) 및 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)에서 토양 저장고(40)의 미생물 저장고(42)로 질소가 이동하는 제4-3경로(P4-3)를 포함하는 질소 부동화 경로로 제4경로(P4)를 정의할 수 있다.
- [0052] 또한, 경로 정의부(12)는 고사 유기물 저장고(30)에서 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)로 질소가 이동하는 제5-1경로(P5-1), 부식 저장고에서 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-2경로(P5-2) 및 미생물 저장고에서 암모늄 저장고로 질소가 이동하는 제5-3경로(P5-3)를 포함하는 질소 무기화 경로로 제5경로(P5)를 정의할 수 있다.
- [0053] 또한, 경로 정의부(12)는 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)에서 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)로 질소가 이동하는 질산화 경로로 제6경로(P6)를 정의할 수 있다.
- [0054] 또한, 경로 정의부(12)는 토양 저장고(40)의 암모늄 저장고(43)에서 임목 저장고(20)로 질소가 이동하는 제7-1경로(P7-1) 및 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)에서 임목 저장고(20)로 질소가 이동하는 제7-2경로(P7-2)를 포함하는 임목의 질소 흡수 경로로 제7경로(P7)를 정의할 수 있다.
- [0055] 또한, 경로 정의부(12)는 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)에서 수계로 질소가 이동하는 수계의 질소 유출 경로로 제8경로(P8)로 정의할 수 있다.
- [0056] 또한, 경로 정의부(12)는 토양 저장고(40)의 질산 저장고(44)에서 대기로 질소가 이동하는 탈질 작용 경로로 제9경로(P9)로 정의할 수 있다.

- [0057] 즉, 경로 정의부(12)는 각 저장고 사이에서 유입되거나, 유출되거나, 순환에 따른 질소의 이동 과정을 명확히 구분하여 이를 정의함으로써, 각 저장고의 질소 저장량을 정량화할 수 있다.
- [0058] 저장량 연산부(13)는 저장고 정의부(11)에서 정의된 복수의 저장고(20, 30, 40) 사이에서 경로 정의부(12)에서 정의된 복수의 질소 이동 경로(P1 ~ P9)를 통해 이동되는 질소의 이동량을 기준으로 각 저장고(20, 30, 40)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0059] 여기서, 저장량 연산부(13)는 특정 시점(t)에서 각 저장고(20, 30, 40)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0060] 여기서, 저장량 연산부(13)에 적용되는 질소 이동 과정의 파라미터는 현지조사 자료와 문헌자료들을 종합하여 추정 및 종합할 수 있다.
- [0061] 특정 시점(t)은 일, 월 또는 년 단위로 구분될 수 있으며, 본 발명의 실시예에서는 월로 구분될 수 있다.
- [0062] 예컨대, 임목_{2008.1}은 2008년 1월 시점에서의 임목 저장고에 저장된 질소 저장량을 의미할 수 있다.
- [0063] 한편, 저장량 연산부(13)는 특정 저장고에서 특정 시점(t)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0064] 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 1] 내지 [수학식 3]을 통해, 특정 시점(t)에서 각 저장고(20, 30, 40)의 질소 저장량을 연산할 수 있다.
- [0065] 상세하게는, 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 1]을 통해, 임목 저장고(20)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0066] [수학식 1]
- [0067]
$$\text{임목 저장고}_t = \text{임목 저장고}_{t-1} + \text{제7-1경로의 질소 이동량} + \text{제7-2경로의 질소 이동량} - \text{제3-1경로의 질소 이동량}$$
- [0068] (여기서, 임목 저장고_t는 특정 시점(t)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타내고, 임목 저장고_{t-1}은 특정 시점(t) 이전 시점(t-1)에서 임목 저장고의 질소 저장량을 나타냄)
- [0069] 또한, 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 2]를 통해, 고사 유기물 저장고(30)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0070] [수학식 2]
- [0071]
$$\text{고사 유기물 저장고}_t = \text{고사 유기물 저장고}_{t-1} - \text{제5-1경로의 질소 이동량} - \text{제3-2경로의 질소 이동량} - \text{제4-1경로의 질소 이동량} + \text{제3-1경로의 질소 이동량}$$
- [0072] (여기서, 고사 유기물 저장고_t는 특정 시점(t)에서 고사 유기물 저장고의 질소 저장량을 나타내고, 고사 유기물 저장고_{t-1}은 특정 시점(t) 이전 시점(t-1)에서 고사 유기물 저장고의 질소 저장량을 나타냄)
- [0073] 또한, 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 3]을 통해, 토양 저장고(40)에 저장된 질소의 저장량을 연산할 수 있다.
- [0074] [수학식 3]
- [0075]
$$\text{토양 저장고}_t = \text{부식 저장고}_t + \text{미생물 저장고}_t + \text{미생물 저장고}_t + \text{암모늄 저장고}_t + \text{질산 저장고}_t$$
- [0076] 한편, 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 4] 내지 [수학식 7]을 통해, 토양 저장고(40)의 부식 저장고(41), 미생물 저장고(42), 암모늄 저장고(43) 및 질산 저장고(44)에 저장된 질소의 저장량을 각각 연산할 수 있다.
- [0077] [수학식 4]
- [0078]
$$\text{부식 저장고}_t = \text{부식 저장고}_{t-1} - \text{제5-2경로의 질소 이동량} + \text{제3-2경로의 질소 이동량}$$
- [0079] [수학식 5]
- [0080]
$$\text{미생물 저장고}_t = \text{미생물 저장고}_{t-1} - \text{제5-3경로의 질소 이동량} + \text{제4-1경로의 질소 이동량} + \text{제4-2경로의 질소}$$

이동량 + 제4-3경로의 질소 이동량

- [0081] [수학식 6]
- [0082] 암모늄 저장고_t = 제1-1경로의 질소 이동량 + 제2-1경로의 질소 이동량 - 제6경로의 질소 이동량 - 제7-1경로의 질소 이동량 + 제5-1경로의 질소 이동량 + 제5-2경로의 질소 이동량 + 제5-3경로의 질소 이동량 - 제4-2경로의 질소 이동량
- [0083] [수학식 7]
- [0084] 질산 저장고_t = 제1-2경로의 질소 이동량 + 제2-2경로의 질소 이동량 + 질산 저장고_{t-1} + 제6경로의 질소 이동량 - 제7-2경로의 질소 이동량 - 제8경로의 질소 이동량 - 제9경로의 질소 이동량 - 제4-3경로의 질소 이동량
- [0085] 여기서, 상술한 수식을 통해, 저장량 연산부(13)는 다음의 [수학식 8]을 통해, 산림의 저장고의 총 질소 저장량을 연산할 수 있다.
- [0086] [수학식 8]
- [0087] 총 질소 저장고_t = 총 질소 저장고_{t-1} + 제2경로의 질소 이동량 + 제1경로의 질소 이동량 - 제8경로의 질소 이동량 - 제9경로의 질소 이동량
- [0088] 이를 통해, 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)은 산림의 질소 저장량과 그 변화를 정량화하여 산림의 질소 양분 보유 상태를 정량화 할 수 있으며, 이에 따른 아산화질소 배출량을 정량화할 수 있어 온실가스에 대한 산림 경영의 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0089] 여기서, 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, 산림경영은 온실가스를 관리하는 가장 중요한 요소 중 하나로 알려져 있는 실정이다(UNFCCC, 1997).
- [0090] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)은 저장고 정의부(11), 경로 정의부(12) 및 저장량 연산부(13)를 통해 도출된 각 저장고(20, 30, 40)에 저장된 질소의 저장량을 기초로 산림의 탄소 순환 모델을 모의할 수 있다.
- [0091] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)은 질소가 산림 탄소 순환에 미치는 영향을 고려할 수 있어, 국가 탄소 인벤토리 보고의 과학적 신뢰성을 높일 수 있다.
- [0092] 여기서, 저장고 정의부(11)는 질소 및 탄소의 저장고를 임목 저장고(20), 고사 유기물 저장고(30) 및 토양 저장고(40)로 정의할 수 있고, 경로 정의부(12)는 각 저장고(20, 30, 40) 사이에서 질소 및 탄소의 이동 경로 및 순환 과정을 정의할 수 있다.
- [0093] 순환량 예측부(14)는 저장고 정의부(11), 경로 정의부(12), 저장량 연산부(13)에서 도출된 질소 이동량과 저장량을 기초로 각 저장고에서의 탄소 순환량 및 탄소 저장량을 예측할 수 있다.
- [0094] 특히, 순환량 예측부(14)는 목질부 저장고(21)의 탄질물을 기준으로 임목 저장고에서의 질소 흡수량을 예측하고, 잎 저장고(22)의 탄질물을 기준으로 임목 저장고에서의 탄소 흡수량을 예측하고, 고사 유기물 저장고(30)의 탄질물을 기준으로 유기물 저장고에서의 질소 이동량을 예측할 수 있다.
- [0095] 여기서, 탄질물은 탄소와 질소의 함량비로 정의될 수 있다.
- [0096] 한편, 도 9를 참조하면 순환량 예측부(14)는 질소 유효도가 산림의 생산성에 미치는 영향과 고사유기물의 탄소 및 질소 함량이 고사유기물 분해에 미치는 영향을 중심으로 탄소 순환량 및 탄소 저장량을 예측할 수 있다.
- [0097] 여기서, 순환량 예측부(14)는 임목 저장고(20)의 질소 흡수량이 목질부 저장고(21)의 탄질물에 비례한다고 가정한다. 이는 목질부의 질소 농도가 적정 질소 농도보다 낮을 경우 임목의 질소 요구가 높아지고, 임목의 질소 요구와 토양 무기 질소(NH_4^+ 과 NO_3^-)의 농도에 따라 임목의 질소 흡수량이 결정된다. 그리고 임목에 흡수된 질소는 부위별 적정 탄질물에 따라 잎과 목질부로 배분될 수 있다.
- [0098] 또한, 순환량 예측부(14)는 임목 저장고(20)의 탄소 흡수량이 잎 저장고(22)의 탄질물에 반비례한다고 가정할 수 있다. 이는 잎의 질소 농도가 적정 질소 농도보다 낮은 경우 잎의 광합성률이 낮아지고, 따라서 임목의 탄소

흡수량도 줄어드므로 이렇게 임목에 흡수된 탄소는 질소와 마찬가지로 부위별 적정 탄질물에 따라 잎과 목질부에 배분될 수 있다.

[0099] 또한, 순환량 예측부(14)는 고사유기물의 분해율이 고사유기물의 탄질물에 반비례한다고 가정한다. 이는 잎과 목질부의 탄질물이 고사유기물의 탄질물에 반영된다. 고사유기물의 분해율과 비례해서 질소의 토양 유입 속도가 결정되며, 이에 따라 토양 무기 질소의 농도가 결정될 수 있다.

[0101] 실시예

[0102] 본 발명의 실시예에서는 상술한 바와 같이, 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)은 3개의 질소 저장고와 9개의 질소 이동 과정으로 구성하고, 질소 이동 과정의 파라미터는 현지조사 자료와 문헌자료들을 종합하여 질소 및 탄소의 도출 값을 추정 및 종합하였다.

[0103] 또한, 질소 유효도가 산림의 생산성에 미치는 영향과 고사유기물의 탄소 및 질소 함량이 고사유기물 분해에 미치는 영향을 중심으로 탄소 순환량 및 탄소 저장량을 예측할 수 있다.

[0104] 한편, 도 10을 참조하면, 소나무림을 대상으로 본 발명의 실시예에서 도출된 질소 저장량을 실제로 측정한 질소 저장량을 비교한 결과 상당히 유사한 것을 확인할 수 있으며, 본 발명의 실시예에서 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)의 신뢰성을 확인할 수 있다.

[0105] 또한, 도 11을 참조하면, 도 10에서 실측한 소나무림을 대상으로 기존 산림 탄소 모델링 시스템(비교예)에서 도출된 탄소 저장량과 본 발명의 실시예에서 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)(실시예)에서 도출된 탄소 저장량을 비교 분석한 결과, 실시예에 따라 도출된 탄소 저장량이 탄소 저장량 실측값에 더 근접한 것을 확인할 수 있다.

[0106] 한편, 도 12를 참조하면, 본 발명의 실시예에서 따른 산림 탄소/질소 모델링 시스템(10)을 이용하여 1954년부터 2015년까지의 국내 소나무림의 산림 탄소 및 질소 저장량과 저장량 변화를 도출하였고, 이를 그래프로 표현하였다.

[0107] 여기서는 전국에 분포한 1,785,600ha의 소나무림을 대상으로 모의를 진행하였으며, 이를 위하여 제5차 국가산림자원조사, 토성, 기상관측 자료 등을 가공하여 모델의 입력자료로 활용하였다.

[0108] 도 12를 참조하면, 모의 결과 전국 소나무림의 탄소 저장량은 1954년부터 1961년까지는 감소하였으나($-27\text{kg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), 그 이후 증가하는 것을 확인할 수 있다. ($+1.1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

[0109] 그 결과, 전국 소나무림의 탄소 저장량 또한 1954년에 $51.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 에서 2015년에 $107.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 까지 증가함을 확인할 수 있었고, 전국 소나무림의 질소 저장량은 1954년부터 1963년까지는 감소하다가($-1.55 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), 1964년부터는 증가함을 확인할 수 있다($+10.16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

[0110] 즉, 전국 소나무림의 질소 저장량은 1954년의 2.8 Mg N ha^{-1} 에서 2015년 $3.38 \text{ Mg N ha}^{-1}$ 로 증가함을 확인할 수 있다.

[0111] 이러한 결과는 1954년 이전 황폐화되었던 산림이 1970년부터 시작된 산림 녹화 정책을 통하여 회복되었고, 이에 따라 산림 탄소 및 질소 저장량이 증가하였음을 보여주는 것으로 해석할 수 있다.

[0112] 그러나 2003년 이후부터는 소나무림의 임령이 증가함에 따라 탄소 및 질소 저장량의 증가가 둔화되는 것을 확인할 수 있다.

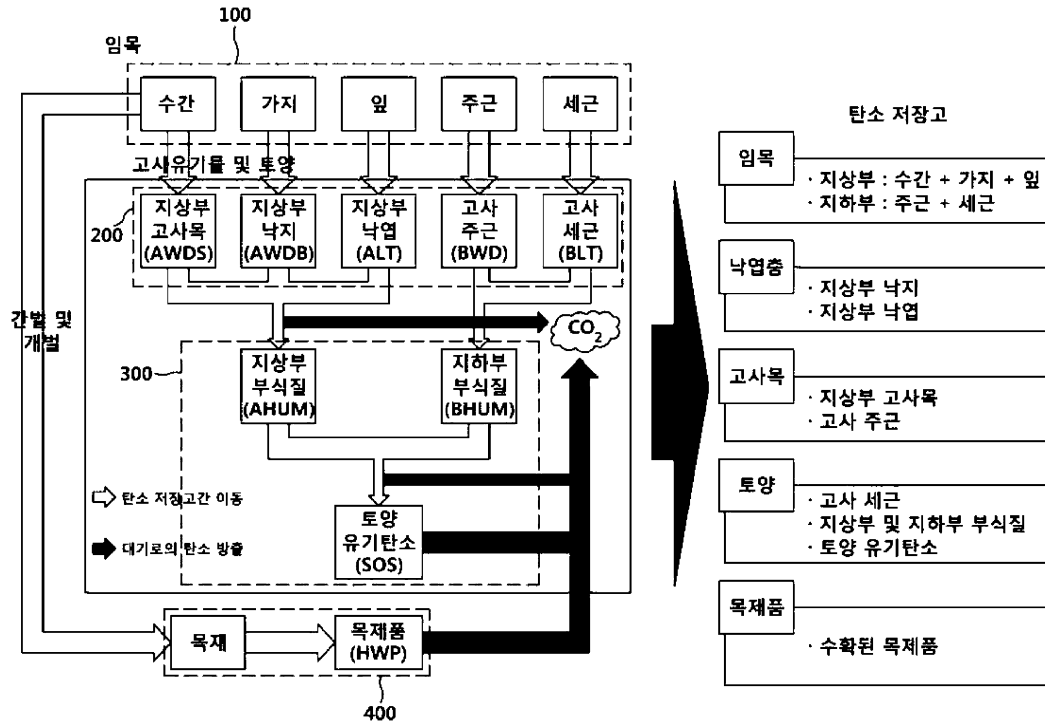
[0113] 따라서, 간벌과 같은 산림 경영을 통하여 임령을 조절하여 산림의 높은 탄소 및 질소 흡수 능력을 유지시켜줄 필요가 있음을 확인할 수 있고, 이를 정량화 하여 산림 경영에 반영할 수 있다.

[0115] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 전술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며,

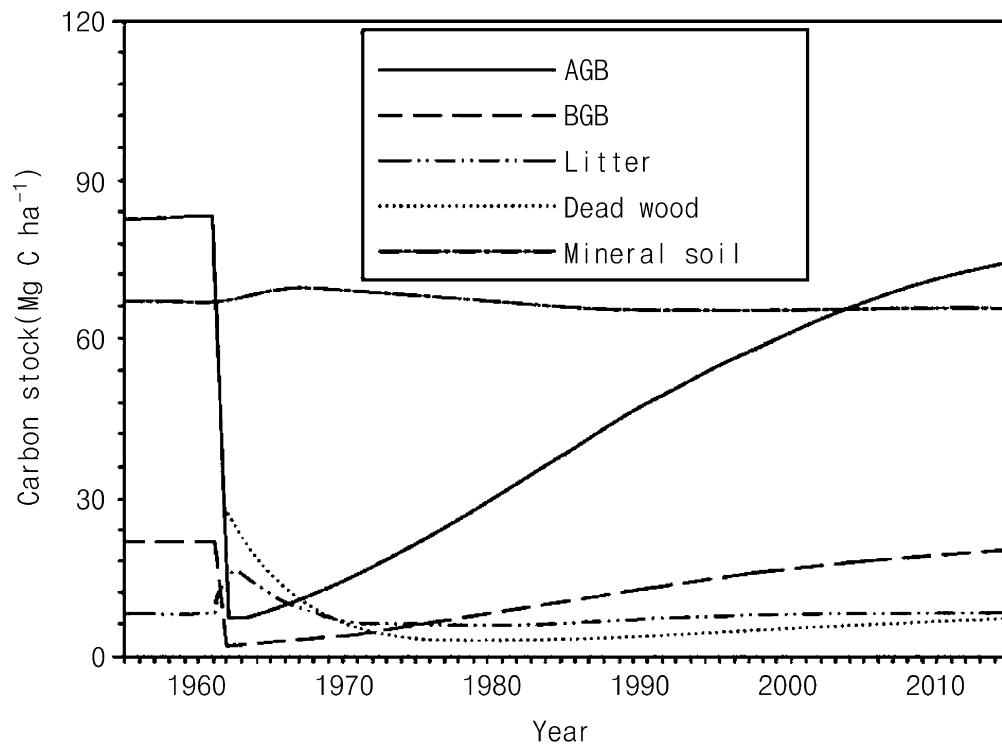
본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

도면

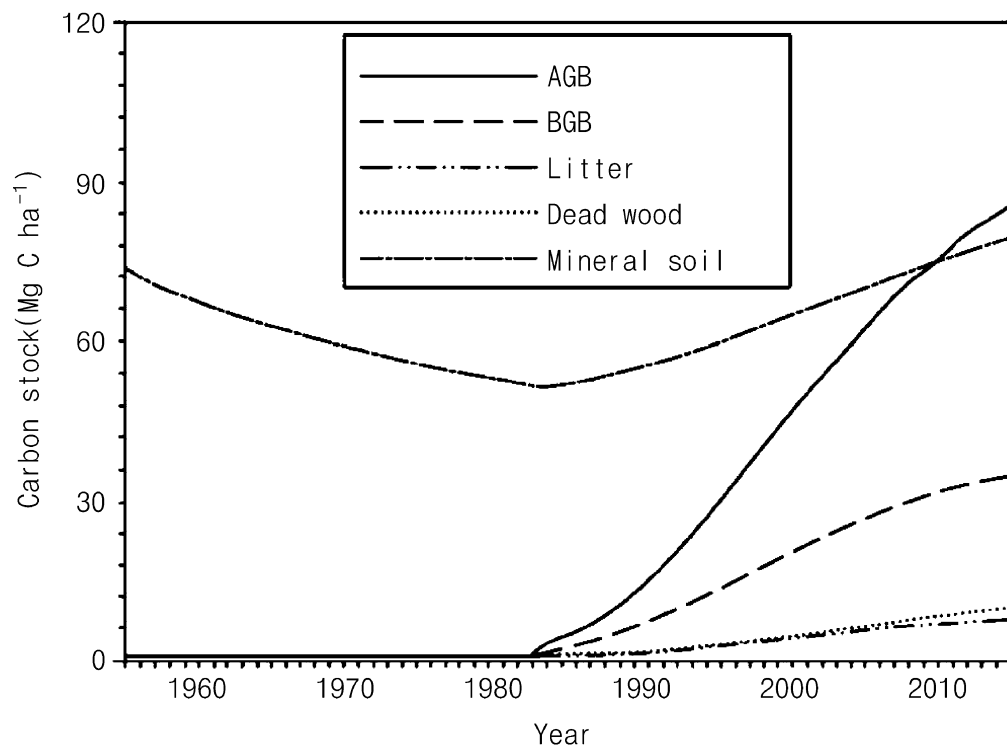
도면1



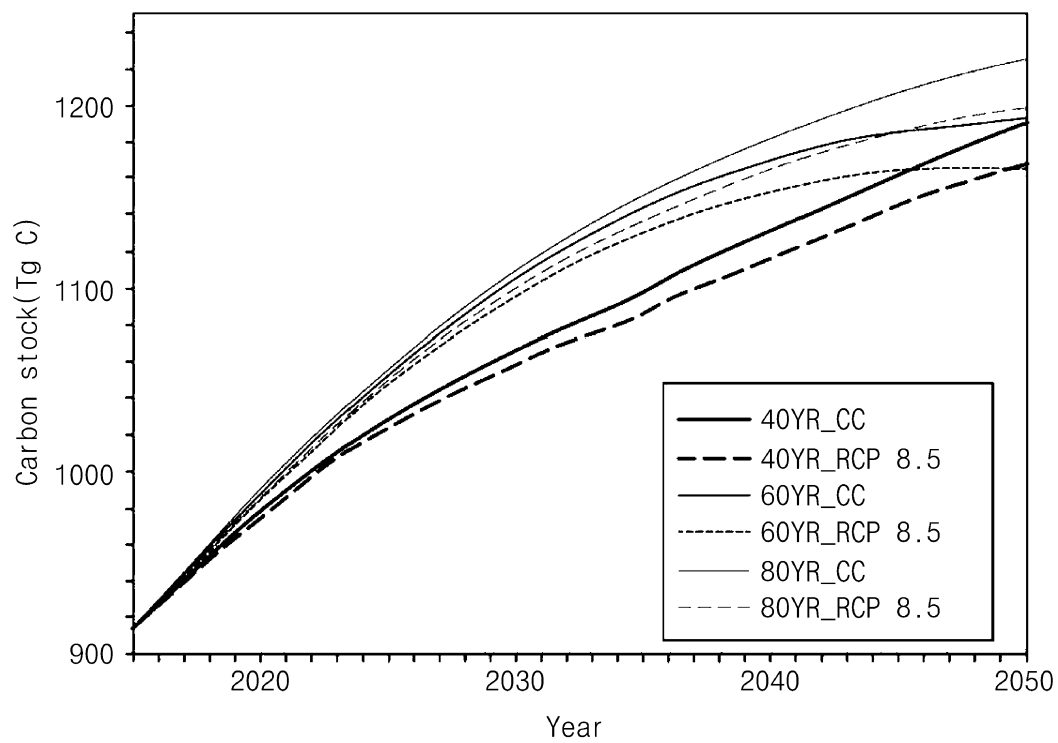
도면2



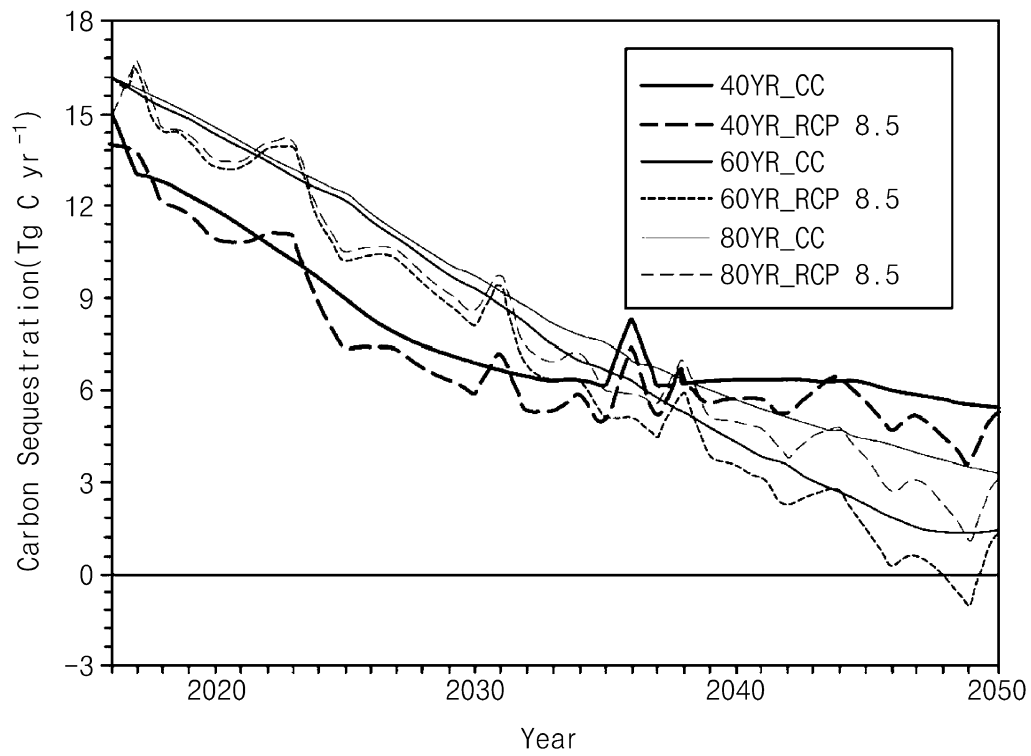
도면3



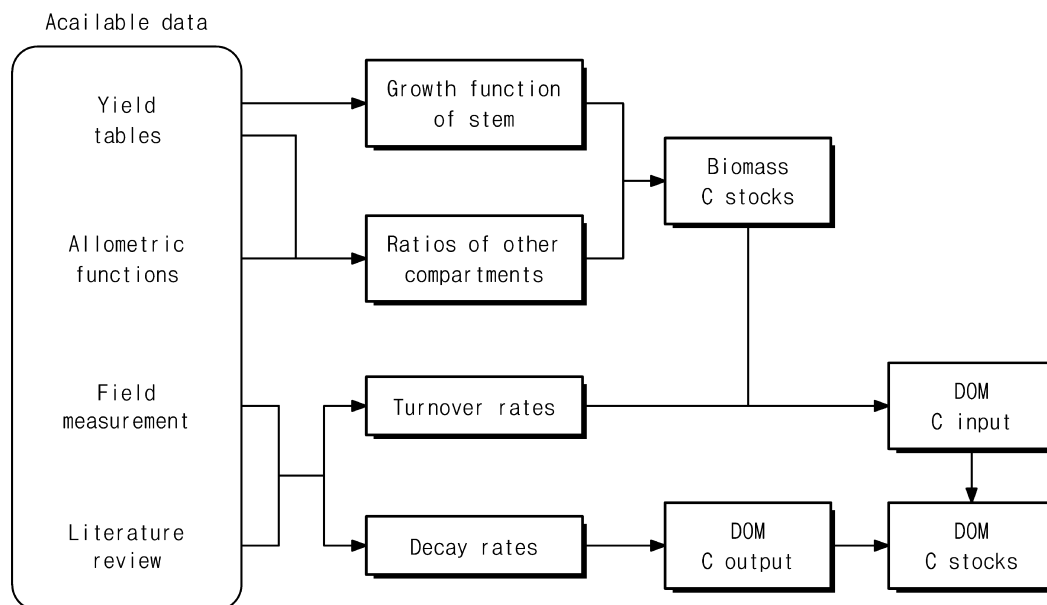
도면4



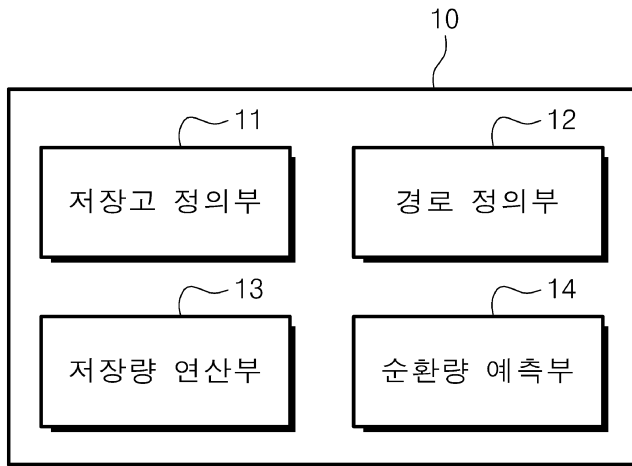
도면5



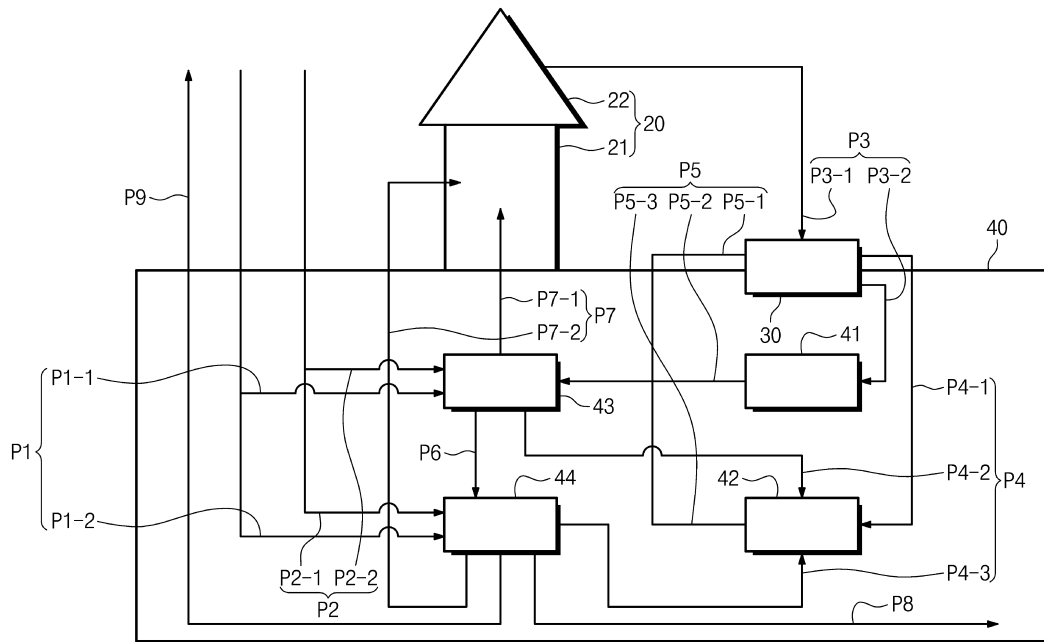
도면6



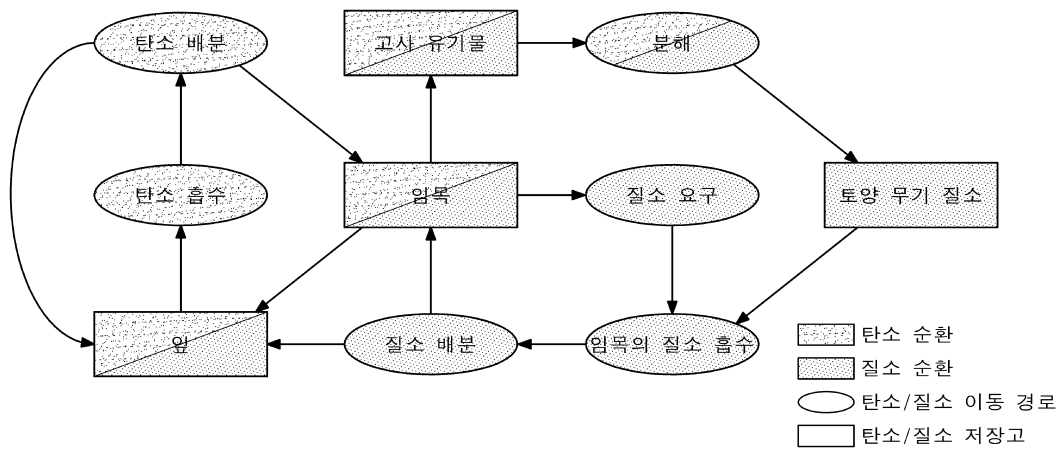
도면7



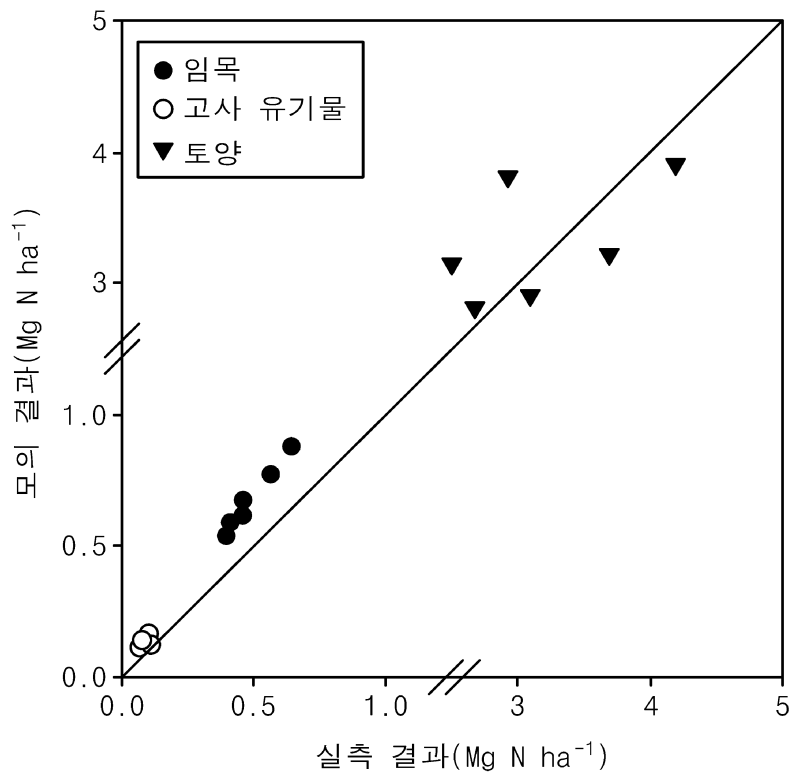
도면8



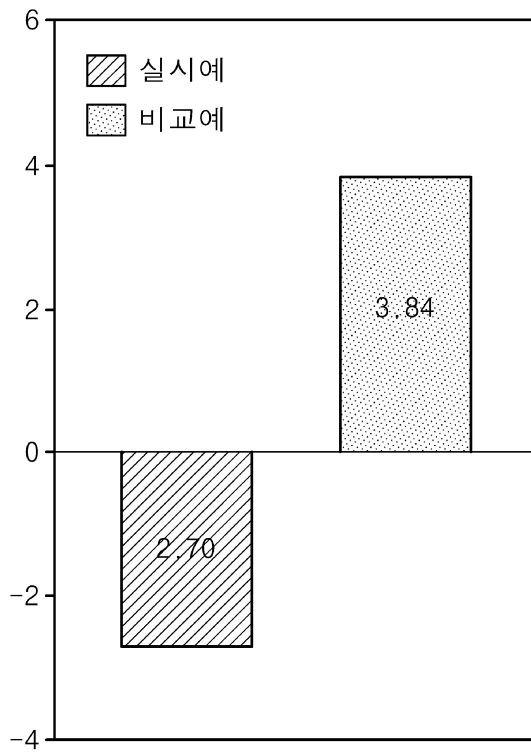
도면9



도면10



도면11



도면12

