



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0169552
(43) 공개일자 2024년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/26 (2024.01) G06F 111/10 (2020.01)
G06F 30/20 (2020.01) G06Q 10/04 (2023.01)
G06Q 50/02 (2024.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/26 (2024.01)
G06F 30/20 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2024-0067266

(22) 출원일자 2024년05월23일

심사청구일자 2024년05월23일

(30) 우선권주장

1020230066502 2023년05월23일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

평택대학교 산학협력단

경기도 평택시 서동대로 3825, 평택대학교 산학협력단 (용이동)

(72) 발명자

이우균

경기도 남양주시 조안면 고래산로 243-35

홍민아

대구광역시 동구 파계로6길 30, 106동 505호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

정은열, 김태훈

전체 청구항 수 : 총 10 항

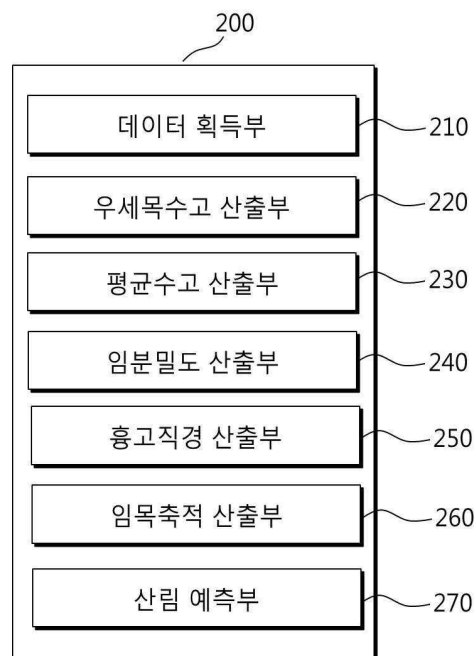
(54) 발명의 명칭 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템

(57) 요약

본 발명은 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템은 대상 임분, 현재의 임령, 지위지수, 및 예측 시점 정보를 획득하는 데이터 획득부(210), 지위지수를 기반으로, 예측 시점에서 대상 임분의 우세목수고를 산출하는 우세목수고 산출부(220), 지위지수 및 산출

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



된 우세목수고를 기반으로, 예측 시점에서의 평균수고를 산출하는 평균수고 산출부(230), 대상 임분의 추정 고사율을 기반으로, 예측 시점에서의 임분밀도를 산출하는 임분밀도 산출부(240), 지위지수, 예측 시점에서의 임령, 및 산출된 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분평균 흉고직경을 산출하는 흉고직경 산출부(250), 산출된 임분평균 흉고직경, 산출된 평균수고, 및 산출된 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임목축적을 산출하는 임목축적 산출부(260), 및 산출된 임목축적을 기반으로, 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측하는 산림 예측부(270)를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G06Q 10/04 (2023.01)
G06Q 50/02 (2024.01)
G06F 2111/10 (2020.01)
Y02P 90/845 (2015.11)

고영진

서울특별시 관악구 조원로 49, 503호

(72) 발명자

김문일

경기도 평택시 용죽1로 13, 2005동 1101호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485019452
과제번호	ARQ202201650002
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	신기후체제대응환경기술개발사업
연구과제명	기후변화 적응을 위한 의사결정형 통합 영향평가 모형 요소기술 개발 : 산림, 농업
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1405004699
과제번호	2021363B10-2123-BD01
부처명	산림청
과제관리(전문)기관명	한국임업진흥원
연구사업명	스마트산림경영혁신성장기술개발(R&D)
연구과제명	산림자원량 활용 극대화를 위한 스마트 산림경영 시스템 개발 연구
과제수행기관명	고려대학
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1055001315
과제번호	KA158194
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	온실가스저감을위한국토도시공간계획및관리기술개발
연구과제명	온실가스 저감을 위한 국토도시공간 계획 및 관리기술 개발
과제수행기관명	한국토지주택공사
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

대상 임분, 현재의 임령, 지위지수, 및 예측 시점 정보를 획득하는 데이터 획득부;

상기 예측 시점에서 상기 대상 임분의 우세목수고를 산출하는 우세목수고 산출부;

상기 지위지수 및 산출된 상기 우세목수고를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 평균수고를 산출하는 평균수고 산출부;

상기 대상 임분의 추정 고사율을 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분밀도를 산출하는 임분밀도 산출부;

상기 지위지수, 상기 예측 시점에서의 임령, 및 산출된 상기 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분 평균 흉고직경을 산출하는 흉고직경 산출부;

산출된 상기 임분평균 흉고직경, 산출된 상기 평균수고, 및 산출된 상기 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임목축적을 산출하는 임목축적 산출부; 및

산출된 상기 임목축적을 기반으로, 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측하는 산림 예측부;를 포함하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 우세목수고 산출부는,

Chapman-Richard 식 또는 Schumacher 식을 기반으로 상기 우세목수고를 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 평균수고 산출부는,

기설정된 기준 임령, 기준 수종, 기준 우세목수고, 기준 지위지수, 및 기준 평균수고 간의 상관관계를 기반으로, 상기 평균수고를 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 추정 고사율은,

현재의 임분밀도 대비 최대 임분밀도에 기반한 상대 임분밀도를 기반으로 상기 예측 시점에서의 상기 대상 임분의 고사율이 산출되고,

산출된 상기 고사율에, 기후변화 시나리오에 따른 상기 예측 시점의 기후 영향을 반영한 고사율인 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 흉고직경 산출부는,

기후변화 시나리오를 추가적으로 반영하여 상기 임분평균 흉고직경을 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 임목체적 산출부는,

하기 [수학식]에 의해 상기 임목체적을 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

[수학식]

$$V_{ij} = a \cdot DBH_{ij}^b \cdot Hm_{ij}^c \times N_{ij}$$

(V: 임목체적, i: 각 임분의 고유번호, j: 년도, DBH: 임분평균 흉고직경, Hm: 평균수고, N: 임분밀도(본수/ha))

청구항 7

청구항 1에 있어서,

산림 자원 및 탄소 변화 정보는,

산림 성장량, 목재 생산량, 임목의 바이오매스, 탄소저장량, 및 탄소흡수량 중 적어도 하나 이상의 정보를 포함하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 대상 임분에 대한 벌채 시업 여부를 선택하는 산림관리부;를 더 포함하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 임분밀도 산출부는,

상기 산림관리부의 시뮬레이션 구동에 의해 상기 대상 임분에 대한 상기 벌채 시업이 수행되는 경우에, 그 벌채를 반영하여 상기 임분밀도를 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 흉고직경 산출부는,

상기 산림관리부에 의해 상기 대상 임분에 대한 상기 벌채가 추정되는 경우에, 그 벌채를 반영하여 상기 임분평균 흉고직경을 산출하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 기후 및 지형공간 자료, 임상도 및 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI) 자료 등을 기반으로 임분 단위(Stand-level)의 임목축적(m^3/ha)을 예측하여 기후변화에 따른 산림 자원 및 탄소의 변화를 추정하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 기후변화 문제는 전 지구적 문제로 인식되고 있으며, 환경, 경제, 사회 등 우리생활의 모든 분야에 걸쳐 이슈화되고 있을 뿐만 아니라 다방면에 영향을 미치고 있다. 최근 발간된 IPCC AR6 평가보고서에서는 온실가스 흡수원인 산림의 역할을 강조하고 있으며, 이를 통한 기후탄력적 개발 경로의 중요성이 대두되었다. 국제사회의 각 국가들은 파리협정에 따라 온실가스감축목표(NDC) 달성을 위한 구체적인 실행계획을 마련하고 있다. 우리나라에서도 「2030 온실가스 로드맵」에 따라 배출 예측치를 4억 3,660만 톤으로 감축 계획을 설정하였다. 또한, 산림을 통한 온실가스 흡수예상량을 26.7백만 톤으로 목표 설정하였다. 중장기전략으로는 2050년까지 탄소중립(Net Zero)을 계획하고, 「2050 장기저탄소발전전략(LEDs)」을 통해 배출량 '0'을 계획하였다. 산림은 광합성을 통해 대기 중 이산화탄소를 흡수하고 바이오매스 형태로 저장함으로써 기후변화 완화에 기여한다. 산림은 이산화탄소 흡수원으로서 기후 조절 기능, 목재 생산 등의 다양한 생태계 서비스를 제공해주고 있다. 이러한 산림은 시간이 경과함에 따라 임상 내 임목의 크기가 변화하므로, 산림자원의 동적 변화에 중요한 요소이며, 산림 자원과 탄소 흡수, 저장, 배출과도 밀접한 연관이 있다. 따라서, 기후변화에 따른 산림의 변화를 분석하고, 이에 대응하기 위한 다양한 측면(목재량, 탄소흡수량 및 저장량 등)에서 산림관리를 모의하는 것이 중요하다.

[0004] 산림 내 생장은 임목 간 경쟁 외에도 유전적, 생리적, 환경적 조건 등에 복합적으로 영향을 받기 때문에 기작적 연계에 따른 예측에 어려움이 있다. 산림 내 생장을 정량적으로 예측하는 것이 어렵지만, 중요하기 때문에 하기 선행기술문헌의 특허문헌에 개시된 바와 같이 다양한 연구들이 수행되었다. 그러나 기존에 개발된 대부분의 모형들은 기후의 영향 및 관리 기작을 고려하지 않았기 때문에 기후변화 현상이 나타나고 점점 더 가속화되어가고 있는 현시대에는 적합하지 않다. 최근 전 세계적으로 기후변화에 따른 산림의 취약성이 극대화됨에 따라 생장도 영향을 받고 있기에, 기후에 따른 생장의 변화와 이에 대응하기 위한 산림관리의 정도를 정량적으로 밝히는 것이 중요한 화두로 여겨지고 있다. 그러나 종래부터 현재까지 기후를 고려하여 한국의 산림 생장을 추정하는 알고리즘이나 모형이 제시된 바 없고, 정책적인 측면과 연계하여 지역단위의 산림관리 계획 수립시, 과학적 근거가 되는 지역 규모의 산림관리에 따른 산림자원 및 탄소량 변화를 평가할 수 있는 도구가 없는 실정이다.

[0005] 따라서, 기후변화에 따른 산림의 변화 관계를 밝히고, 이를 기반으로 실제 산림에 적용할 수 있는 모형을 개발하는 것이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 10-2011-0098438 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일측면은 기후변화의 영향과 산림관리

유무에 따른 효과를 반영하여 미래 산림성장 변화를 예측하고 이에 따른 최적산림관리계획 수립을 지원할 수 있는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템은 대상 임분, 현재의 임령, 지위지수, 및 예측 시점 정보를 획득하는 데이터 획득부; 상기 예측 시점에서 상기 대상 임분의 우세목수고를 산출하는 우세목수고 산출부; 상기 지위지수 및 산출된 상기 우세목수고를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 평균수고를 산출하는 평균수고 산출부; 상기 대상 임분의 추정 고사율을 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분밀도를 산출하는 임분밀도 산출부; 상기 지위지수, 상기 예측 시점에서의 임령, 및 산출된 상기 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분평균 흉고직경을 산출하는 흉고직경 산출부; 산출된 상기 임분평균 흉고직경, 산출된 상기 평균수고, 및 산출된 상기 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임목축적을 산출하는 임목축적 산출부; 및 산출된 상기 임목축적을 기반으로, 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측하는 산림 예측부;를 포함한다.
- [0011] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 우세목수고 산출부는, Chapman-Richard 식 또는 Schumacher 식을 기반으로 상기 우세목수고를 산출할 수 있다.
- [0012] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 평균수고 산출부는, 기설정된 기준 임령, 기준 수종, 기준 우세목수고, 기준 지위지수, 및 기준 평균수고 간의 상관관계를 기반으로, 상기 평균수고를 산출할 수 있다.
- [0013] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 추정 고사율은, 현재의 임분밀도 대비 최대 임분밀도에 기반한 상대 임분밀도를 기반으로 상기 예측 시점에서의 상기 대상 임분의 고사율이 산출되고, 산출된 상기 고사율에, 기후변화 시나리오에 따른 상기 예측 시점의 기후 영향을 반영한 고사율일 수 있다.
- [0014] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 흉고직경 산출부는, 기후변화 시나리오를 추가적으로 반영하여 상기 임분평균 흉고직경을 산출할 수 있다.
- [0015] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 임목축적 산출부는, 하기 [수학식]에 의해 상기 임목축적을 산출할 수 있다.
- [0016] [수학식]
- $$V_{ij} = a \cdot DBH_{ij}^b \cdot Hm_{ij}^c \times N_{ij}$$
- [0017]
- [0018] (V: 임목축적, i: 각 임분의 고유번호, j: 년도, DBH: 임분평균 흉고직경, Hm: 평균수고, N: 임분밀도(본수/ha))
- [0019] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 산림 자원 및 탄소 변화 정보는, 산림 성장량, 목재 생산량, 임목의 바이오매스, 탄소저장량, 및 탄소흡수량 중 적어도 하나 이상의 정보를 포함할 수 있다.
- [0020] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 대상 임분에 대한 벌채 시업 여부를 선택하는 산림관리부;를 더 포함할 수 있다.
- [0021] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 임분밀도 산출부는, 상기 산림관리부의 시뮬레이션 구동에 의해 상기 대상 임분에 대한 상기 벌채 시업이 수행되는 경우에, 그 벌채를 반영하여 상기 임분밀도를 산출할 수 있다.
- [0022] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 있어서, 상기 흉고직경 산출부는, 상기 산림관리부에 의해 상기 대상 임분에 대한 상기 벌채가 추정되는 경우에, 그 벌채를 반영하여 상기 임분평균 흉고직경을 산출할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

[0025] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따르면, 산림청에서 제공하는 임상도와 기상청에서 제공하는 기상자료를 활용하여 국내 산림 성장량을 추정 및 예측할 수 있는 시스템 모형을 고안함으로써, 기존의 기후변화 영향을 파악하고, 국가 및 지역단위의 지속 가능한 산림경영을 지원할 수 있는 모형이 부족하다는 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 본 발명을 통하여 성장량 예측뿐만 아니라 이와 연계된 산림 탄소 흡수 및 저장량을 고도화할 수 있으며, 이는 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 산정과 2050 탄소중립 달성을 위한 전략 방안에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템의 구성을 도시한 블록도이다.

도 2는 도 1에 도시된 일 실시예에 따른 연산부의 구성을 도시한 블록도이다.

도 3은 임령과 지위지수에 따른 우세목수고/평균수고의 비율을 나타내는 그래프이다.

도 4는 수종에 따른 우세목수고/평균수고의 비율을 나타내는 그래프이다.

도 5는 동적성장모형(Piao et al., 2018)의 기본 개념도이다.

도 6은 도 2는 도 1에 도시된 다른 실시예에 따른 연산부의 구성을 도시한 블록도이다.

도 7은 실험예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 모델의 기본구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 8은 소정의 시나리오에 따른 산림 성장량을 시공간적으로 도출한 결과이다.

도 9는 소정의 시나리오에 따른 산림의 이산화탄소흡수량을 시공간적으로 도출한 결과이다.

도 10은 소정의 시나리오에 따른 산림의 이산화탄소흡수량을 시계열적으로 도출한 결과이다.

도 11은 유역 단위 시나리오에 따른 목재 수확 분포 도출 결과이다.

도 12는 유역 단위 시나리오에 따른 표준산림경영단위별 목재수확량 도출 결과이다.

도 13은 관리시나리오에 따른 목재수확량(m^3) 도출 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템의 구성을 도시한 블록도이고, 도 2는 도 1에 도시된 일 실시예에 따른 연산부의 구성을 도시한 블록도이다.

[0033] 도 1 내지 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템은 대상 임분, 현재의 임령, 지위지수, 및 예측 시점 정보를 획득하는 데이터 획득부(210), 지위지수를 기반으로, 예측 시점에서 대상 임분의 우세목수고를 산출하는 우세목수고 산출부(220), 지위지수 및 산출된 우세목수고를 기반으로, 예측 시점에서의 평균수고를 산출하는 평균수고 산출부(230), 대상 임분의 추정 고사율을 기반으로, 예측 시점에서의 임분밀도를 산출하는 임분밀도 산출부(240), 지위지수, 예측 시점에서의 임령, 및 산출된 임분밀도

를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임분평균 흉고직경을 산출하는 흉고직경 산출부(250), 산출된 임분평균 흉고직경, 산출된 평균수고, 및 산출된 임분밀도를 기반으로, 상기 예측 시점에서의 임목축적을 산출하는 임목축적 산출부(260), 및 산출된 임목축적을 기반으로, 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측하는 산림 예측부(270)를 포함한다.

[0035] 본 발명은 기후 및 지형공간 자료, 임상도 및 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI) 자료 등을 기반으로 임분 단위(Stand-level)의 임목축적(m^3/ha)을 예측하여 기후변화에 따른 산림 자원 및 탄소의 변화를 추정하는 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템에 관한 것으로, 입력부(100), 연산부(200) 및 저장부(300)를 포함할 수 있다.

[0036] 입력부(100)는 사용자가 산림 자원 및 탄소의 변화를 추정할 수 있는 기초자료를 입력하는 장치 내지 모듈일 수 있다. 이에 의해 입력되는 기초자료로는, 기후변화 시나리오, 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI), 임상도, 환경사회 자료 등이 사용될 수 있다. 또한, 기상청에서 제공하는 기상자료 등도 포함될 수 있다.

[0037] 연산부(200)는 입력부(100)를 통해 입력된 기초자료로부터 소정의 정보를 획득하고, 그 정보 및 그 정보에 기반한 연산을 통해 도출된 정보를 기초로 임분 단위의 임목축적을 예측함으로써, 소정의 기간을 단위로 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측한다. 여기서, 상기 소정의 기간은 예를 들어, 1년 단위로 정할 수 있다. 이 경우, 대상 임분의 임목축적, 탄소저장량 및 흡수량, 목재바이오매스 생산량 등을 1년 단위로 추정할 수 있다.

[0038] 저장부(300)는 입력부(100)를 통해 입력된 기초자료, 연산부(200)의 연산 과정에서 획득 내지 도출되고 추정된 정보 등을 데이터베이스화하여 저장할 수 있다. 여기서 저장된 정보는 필요에 의해 연산부(200)에 제공될 수 있다.

[0040] 본 발명에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템은 사용자가 대상으로 삼은 대상 임분에 대한 시공간자료를 기초자료로, 현재 및 미래의 산림 변화 정보를 추정하여, 요소별로 출력된 결과를 표출할 수 있다. 일례로, 지위지수(Site index)와 임령 자료를 통해 산림의 생산성과 현재 재적량을 공간적으로 정량화한 후, 1년 단위의 기상 인자가 임분 단위 산림의 평균 직경 및 수고 성장, 고사율에 미치는 영향을 수준별로 평가한 방법론과 관리방안에 따른 임분 상태의 변화를 반영할 수 있는 알고리즘을 통해 임분의 임목 축적, 탄소저장량 및 흡수량, 목재바이오매스 생산량을 1년 단위로 추정할 수 있다.

[0041] 본 발명에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 시스템을 완성하기 위해서, 실제 산림관리와 경영에 활용 가능한 임분 단위 성장을 추정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 우리나라는 현재 전체 산림의 82%가 IV영급 이상으로 노령림화되어 가고 있는 추세이며, 축적된 산림자원을 체계적으로 관리하여 지속가능한 산림경영을 도모해야할 시점이다. 그러나, 현재 이를 뒷받침할 수 있는 과학적인 알고리즘과 모형은 부족한 실정이다. 다음으로, 기후변화가 산림 성장에 미치는 영향을 모형에 반영하였다. 기후조건은 임목의 생리와 성장에 영향을 미치기 때문에, 미래 기후변화 진행에 따른 산림의 성장 변화 예측의 불확도를 낮추기 위하여 반드시 필요하다. 개발된 알고리즘을 시공간자료(Spatio-temporal DB)와 연계하여 실질적인 국가 및 지자체 단위의 산림관리 계획 수립에 활용될 수 있는 정보를 제공할 수 있도록 본 발명을 구현하였다.

[0043] 이하에서는 실질적으로 임분단위의 임목축적을 예측하여 기후변화에 따른 산림 자원 및 탄소의 변화를 추정하는 연산부(200)에 대해 설명한다.

[0044] 구체적으로, 연산부(200)는 데이터 획득부(210), 우세목수고 산출부(220), 평균수고 산출부(230), 임분밀도 산출부(240), 흉고직경 산출부(250), 임목축적 산출부(260), 및 산림 예측부(270)를 포함한다. 여기서, 데이터 획득부(210), 우세목수고 산출부(220), 평균수고 산출부(230), 임분밀도 산출부(240), 흉고직경 산출부(250), 임목축적 산출부(260), 및 산림 예측부(270) 전부 또는 일부는 서로 다른 프로세서이거나, 동일 프로세서 내에서 프로그램별로 각각 작동되는 모듈로 구현될 수 있다.

[0046] 데이터 획득부(210)는 대상 임분, 현재의 임령, 지위지수, 및 예측 시점 정보를 획득한다. 입력부(100)를 통해 입력된 기초자료는 사용자가 대상 임분의 정보를 제공하는데 사용되기 때문에 이러한 정보는 사용자가 입력부

(100)를 통해 입력한 자료 내지 정보로부터 얻어질 수 있다. 여기서, 대상 임분은 좌표 내지 주소로 특정될 수 있고, 예측 시점은 사용자에게 의해 지정된 시점으로서 일례로 1년 단위로 정해질 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 데이터 획득부(210)가 획득하는 정보는 예측 시점에서의 대상 임분에 대한 우세목수고, 평균수고, 임분밀도, 임분평균 흉고직경, 임목축적, 산림 자원 및 탄소 변화 정보의 추정에 사용되는 정보들이다. 이러한 정보들은 입력부(100)에 의해 입력된 기초자료 그 자체 정보이거나, 또는 데이터 획득부(210)가 그 중 일부를 가공하여 생성한 것일 수 있다.

[0047] 데이터 획득부(210)는 기상청에서 제공하는 기상자료, 기후변화시나리오에 따른 시공간 자료로부터 예측 시점에서의 기온, 강수량 등에 관한 정보를 획득할 수 있다. 또한, 데이터 획득부(210)는 대상 임분에 대한 현재의 수종, 현재의 우세목수고, 현재의 임분밀도 정보를 취득할 수도 있다. 또한, 데이터 획득부(210)는 벌채 정보를 획득할 수도 있다.

[0048] 여기서, 지위지수(SI)는 현재 임목의 임령과 우세목수고에 기초하여 도출될 수 있고, 임령은 공간자료인 임상도 자료의 영급자료를 활용하여 분류한 후 현장자료인 NFI 자료와 비교하여 산정할 수 있다. 지위지수는 기준임령(Index age)의 우세목 또는 준우세목의 수고로 정의되고 있는데, 일반적으로 수고(Hight)는 임분밀도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 알려져 있기 때문에, 순수한 임지의 생산력을 나타내는 자료를 산출하는데 활용될 수 있다. 이러한 지위지수는 아래의 Chapman-Richard 또는 Schumacher의 지위지수 산출식 식 중 수중에 따라 보다 적합한 식을 적용하여 산출할 수 있다.

[0049] [Chapman-Richard의 지위지수 산출식]

$$SI = h_o \left(\frac{1 - e^{-a \cdot Age_{SI}}}{1 - e^{-a \cdot Age}} \right)^b$$

[0050]

[0051] [Schumacher의 지위지수 산출식]

$$SI = h_o \cdot \left(\frac{Age_{SI}}{Age} \right)^a e^{b \left(\frac{1}{Age_{SI}} - \frac{1}{Age} \right)}$$

[0052]

[0053] 위의 2개의 식에서, SI는 지위지수이고, h_o 는 현재 우세목수고이며, Age는 임령이고, Age_{SI} 는 지위지수 산정을 위한 기준임령(한국은 30년)이며, a, b, c 각각은 계수이다.

[0054] 한편, 산출된 지위지수는 고정된 값이므로, 예측 시점에서 변하지 않는 것으로 가정한다.

[0056] 우세목수고 산출부(220)는 예측 시점에서의 대상 임분의 우세목수고를 산출한다. 예측 시점에서의 우세목수고는, 아래의 Chapman-Richard 또는 Schumacher의 우세목수고 산출식을 기반으로 도출될 수 있다.

[0057] [Chapman-Richard의 우세목수고 산출식]

$$h_o = a(1 - e^{-b \cdot age})^c$$

[0058]

[0059] [Schumacher의 우세목수고 산출식]

$$h_o = a \cdot Age^b \cdot e^{c \cdot \frac{1}{Age}}$$

[0060]

[0062] 위의 2개의 식에서, h_o 는 예측 시점에서의 우세목수고이고, Age는 예측 시점에서의 임령이며, a, b, c 각각은 계수이다. 일례로, 계수 a, b, c 는 아래 [표 1]와 같이 NFI 자료를 이용하여 추정할 수 있다.

[0063] [표 1] 수종별 Chapman-Richard의 우세목수고 산출식의 계수-국가산림자원조사 자료를 이용하여 추정함

수종	Parameter	Estimate	Std Error	t-value	p value
소나무	a	15.48341	0.228708	67.699	<2e-16
	b	0.056535	0.004661	12.13	<2e-16
	c	1.567098	0.177968	8.805	<2e-16
일본잎갈 나무	a	22.84471	1.15407	19.8	< 2e-16
	b	0.07036	0.01469	4.79	2.09E-06
	c	2.37844	0.70567	3.37	0.000797
잣나무	a	15.39499	0.59375	25.928	< 2e-16
	b	0.09666	0.01484	6.514	1.87E-10
	c	3.97402	1.11015	3.58	0.000379
굴참나무	a	15.2018	0.234786	64.748	< 2e-16
	b	0.073892	0.007077	10.441	< 2e-16
	c	1.892997	0.287492	6.585	5.23E-11
신갈나무	a	14.31365	0.229644	62.33	< 2e-16
	b	0.064789	0.007198	9.002	< 2e-16
	c	1.518197	0.250688	6.056	1.58E-09

[0064]

[0066] 평균수고 산출부(230)는 예측 시점에서의 평균수고를 산출한다. 여기서, 지위지수, 및 우세목수고 산출부(220)가 산출한 예측 시점에서의 우세목수고를 기반으로, 예측 시점에서의 평균수고를 산출할 수 있다.

[0067] 일례로, 평균수고 산출부(230)는, 기설정된 기준 임령, 기준 수종, 기준 우세목수고, 기준 지위지수, 및 기준 평균수고 간의 상관관계를 기반으로, 평균수고를 산출할 수 있다. 도 3은 임령과 지위지수에 따른 우세목수고/평균수고의 비율을 나타내는 그래프이고, 도 4는 수종에 따른 우세목수고/평균수고의 비율을 나타내는 그래프로, 도 3 내지 도 4를 들어 보다 자세하게 설명하면, 수종별 우세목수고/평균수고의 비율(ratio)을 확인한 결과, 그 비율 값은 지위지수에 따른 차이를 보인다. 또한, 임령에 따라 일정한 패턴을 가진다. 즉, 기설정된 기준 임령, 기준 수종, 기준 우세목수고, 기준 지위지수, 및 기준 평균수고 간에 일정한 상관관계가 나타나므로, 그 상관관계를 이용하여 각각의 예측 시점에서의 임령, 수종, 우세목수고, 지위지수에 기초하여, 예측 시점에서의 평균수고를 산출할 수 있다. 여기서, 아래와 같은 회귀모형을 통해 수종별, 지위지수별 계수를 도출할 수 있다.

$$\frac{ha}{hm} = a \cdot \exp(-0.5 \cdot \log\left(\frac{age}{b}\right)^2)$$

[0068]

[0069] 여기서, ha는 우세목수고이고, hm은 평균수고이며, age는 예측 시점에서의 임령이고, a, b, c는 계수이다. a, b, c는 아래 [표 2]와 같다.

[0070] [표 2] 우세목수고/평균수고 비율 추정 모형의 통계량

수종	SI	계수	Estimate	Std. Error	t-value	p-value
중부지방 소나무	10	a	1.203	0.002	541.337	<0.0001
		b	32.225	1.028	31.353	<0.0001
		c	2.600	0.131	19.781	<0.0001
	12	a	1.219	0.002	695.043	<0.0001
		b	29.701	1.455	20.415	<0.0001
		c	3.327	0.213	15.629	<0.0001
	14	a	1.228	0.001	946.258	<0.0001
		b	32.324	1.023	31.584	<0.0001
		c	3.443	0.173	19.852	<0.0001
	16	a	1.237	0.002	725.466	<0.0001
		b	34.374	1.186	28.989	<0.0001
		c	3.414	0.218	15.634	<0.0001
일본 잎갈나무	16	a	1.117	0.001	781.110	<0.0001
		b	25.771	0.284	90.610	<0.0001
		c	2.641	0.042	63.060	<0.0001
	18	a	1.127	0.001	879.520	<0.0001
		b	25.993	0.312	83.220	<0.0001
		c	2.951	0.052	57.220	<0.0001
	20	a	1.134	0.001	763.890	<0.0001
		b	26.304	0.431	61.050	<0.0001
		c	3.244	0.079	41.300	<0.0001
	22	a	1.138	0.002	669.930	<0.0001
		b	27.944	0.577	48.400	<0.0001
		c	3.524	0.115	30.590	<0.0001
굴참나무	12	a	1.180	0.002	502.110	<0.0001
		b	25.988	0.621	41.880	<0.0001
		c	3.149	0.109	28.790	<0.0001
	14	a	1.190	0.002	583.730	<0.0001
		b	26.757	0.637	41.970	<0.0001
		c	3.459	0.125	27.790	<0.0001
	16	a	1.196	0.001	956.700	<0.0001
		b	27.088	0.482	56.150	<0.0001
		c	3.864	0.106	36.610	<0.0001
	18	a	1.204	0.001	1012.630	<0.0001
		b	27.619	0.531	52.020	<0.0001
		c	4.174	0.126	33.200	<0.0001

[0071]

[0073] 임분밀도 산출부(240)는 대상 임분의 추정 고사율을 기반으로, 예측 시점에서의 임분밀도를 산출할 수 있다. 추정 고사율은 현재의 임분밀도 대비 최대 임분밀도에 기반한 상대 임분밀도를 기반으로 예측 시점에서의 대상 임분의 고사율을 산출하고, 산출된 고사율의 잔차에 기초하여 기후변화 시나리오를 반영한 고사율일 수 있다.

[0074] 대상 임분의 고사율을 추정하는 모델은 Sterba(1981, 1987)가 고안한 최대임목본수(Maximum stem number) 이론을 활용하여, 상대밀도지수(Relative density index)를 도출하고, 이를 통해 임분의 고사율을 추정할 수 있다. 여기서, 대상 임분의 우세목수고에 대한 최대 임분밀도를 산출하고, 현재 임분밀도 대비 최대 임분밀도에 기초한 상대 임분밀도를 산출한 후, 상대 임분밀도에 기초하여 예측 시점에서의 대상 임분의 고사율을 산출한 다음, 산출된 고사율에, 기후변화 시나리오에 따른 상기 예측 시점의 기후 영향을 반영한 고사율을 도출할 수 있다. 이에 관한 자세한 내용은 논문(Kim, M., Lee, W. K., Choi, G. M., Song, C., Lim, C. H., Moon, J., ... & Forsell, N. (2017). Modeling stand-level mortality based on maximum stem number and seasonal temperature. Forest Ecology and Management, 386, 37-50.) 및 공개특허공보(제10-2019-0020219호)에 개시되어 있는바, 자세한 설명은 생략한다.

[0075] 이러한 대상 임분의 추정 고사율을 통해 예측 시점에서의 고사율이 추정되면, 그 추정 고사율을 현재 임분밀도

에 반영함으로써, 예측 시점에서의 임분밀도를 도출할 수 있다.

[0077] 흉고직경 산출부(250)는 지위지수, 예측 시점에서의 임령, 및 임분밀도 산출부(240)에 의해 산출된 임분밀도를 기반으로, 예측 시점에서의 임분평균 흉고직경을 산출한다. 이때, 기후변화 시나리오를 추가적으로 반영하여 상기 임분평균 흉고직경을 산출할 수 있다.

[0078] 흉고직경 산출부(250)에 의한 임분평균 흉고직경 산출은 논문(Piao, D., Kim, M., Choi, G. M., Moon, J., Yu, H., Lee, W. K., ... & Cui, G. (2018). Development of an Integrated DBH Estimation Model Based on Stand and Climatic Conditions. Forests, 9(3), 155. 이하, 'Piao et al., 2018'이라 함)에 기반하고 있다. Piao et al., 2018은 임목생장에 미치는 인자를 비공간자료와 공간자료로 구분하고, 두 번의 회귀분석을 통해 수종별 동적성장모형을 개발하였다. 도 5는 동적성장모형(Piao et al., 2018)의 기본 개념도로, 도 5 및 아래 [표 3], [표 4]를 참고로, 먼저 비공간자료로 첫 번째 회귀분석을 실시한 후 모형의 잔차를 산출하고, 이 잔차를 종속변수로 고려하여 공간자료를 통해 두 번째 회귀분석을 실시한 다음, 최종적으로 아래 [표 3] 및 [표 4]와 같이 이 두 회귀 모형을 하나로 합쳐 최종적인 임분평균 흉고직경을 도출한다.

[0079] [표 3] 동적성장모형(Piao et al., 2018)에 따른 최종 성장모형

유형	함 수 형 태
비공간인자 적용(A)	$dbh = a \cdot e^{b \left(\frac{1}{age} \right)} \cdot SI^c \cdot Nhd^d$
잔차	$e = dbh - dbh_e$
기상인자 적용(B)	$e = a \cdot T + b \cdot P + c$
최종 성장모형	$dbh = A + B$

[0080]

[0081] [표 4] 수종별 동적성장모형 계수(Piao et al., 2018)

Tree Species	Integrated DBH Estimation Model	
	Non-Spatial Variable	Spatial Variable
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	$DBH = 43.896 \cdot e^{-22.959 \left(\frac{1}{age} \right)} \cdot SI^{0.485} \cdot Nhd^{-0.216}$	$+0.698 - 0.040 \cdot T_{Mean} - 0.0004 \cdot P_{Season}$
<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carr.	$DBH = 37.753 \cdot e^{-18.456 \left(\frac{1}{age} \right)} \cdot SI^{0.369} \cdot Nhd^{-0.177}$	$-1.367 - 0.267 \cdot T_{Mean} + 0.005 \cdot P_{Season}$
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	$DBH = 56.486 \cdot e^{-24.406 \left(\frac{1}{age} \right)} \cdot SI^{0.314} \cdot Nhd^{-0.167}$	$+9.390 - 0.258 \cdot T_{Mean} - 0.007 \cdot P_{Season}$
<i>Quercus</i> L. total (<i>Quercus variabilis</i> Blume+ <i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.)	$DBH = 177.200 \cdot e^{-18.896 \left(\frac{1}{age} \right)} \cdot SI^{0.053} \cdot Nhd^{-0.290}$	$-7.162 + 0.002 \cdot T_{Season} - 0.001 \cdot P_{Season}$

[0082]

[0084] 임목축적 산출부(260)는, 흉고직경 산출부에서 산출된 임분평균 흉고직경, 평균수고 산출부(230)에서 산출된 평균수고, 및 임분밀도 산출부(240)에서 산출된 임분밀도를 기반으로, 예측 시점에서의 임목축적을 산출한다. 이때, 산출되는 임목축적은 대상 임목에 관한 것으로, 본 발명에 따르면 임목단위로 임목축적을 예측할 수 있다. 또한, 전술한 바와 같이, 예측 시점을 1년 단위로 설정하는 경우에, 1년 단위로 임목별 임목축적이 예측될 수 있다.

[0085] 일 실시예로, 임목축적 산출부(260)는 하기 [수학식 1]에 의해 임목축적을 산출할 수 있다.

[0086] [수학식 1]

$$V_{ij} = a \cdot DBH_{ij}^b \cdot Hm_{ij}^c \times N_{ij}$$

[0087]

[0088] 여기서, V는 임목축적, i는 각 임분의 고유번호, j는 년도, DBH는 임분평균 흉고직경, Hm은 평균수고, N은 임분밀도(본수/ha)이다.

[0089] 상기 계수 a, b, c는 수종별 계수로서, 기초자료 등에 의해 도출될 수 있다. 일례로, 국립산림과학원 자료에 의

해 [표 5]와 같이 a, b, c가 도출될 수 있다.

[표 5] 임목축적 산출을 위한 수종별 계수

계수	소나무	낙엽송	잣나무	굴참나무	신갈나무
a	0.000201	0.000088	0.000015	0.000047	0.000344
b	1.7593	1.7828	2.4239	1.8603	1.3639
c	0.6583	0.9397	0.8651	1.0589	0.879

산림 예측부(270)는 임목축적 산출부(260)에서 산출된 임목축적을 기반으로, 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측한다. 따라서, 1년 단위로 임목별 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측할 수 있다. 여기서, 추정되는 산림 자원 및 탄소 변화 정보는 전술한 바와 같이, 임목축적 산출 시에 기후·환경 요인이 고려되었는바, 그 기후·환경 요인이 반영될 수 있다. 산림 자원 및 탄소 변화 정보는 산림 성장량, 목재 생산량, 임목의 바이오매스, 탄소저장량, 및 탄소흡수량 중 적어도 하나 이상의 정보를 포함할 수 있다. 산림 성장량은 임목축적에 비례하므로, 예상 시점에 따른 임목별 임목축적의 예측을 통해 임목별 산림 성장량을 추정할 수 있다. 임목축적 내지 산림 성장량을 기초로 목재 생산량을 추정할 수도 있다. 또한, 임목의 바이오매스(건중량)는 임목축적에 목재기본밀도(Basic wood density)를 곱하여 산출할 수 있다. 임목의 탄소저장량은 바이오매스에 탄소 계수(Carbon fraction)를 곱하여 산출할 수 있다. 탄소 계수는 수종에 따라 차이가 있으나, 그 차이가 미비하기 때문에 0.5를 적용하여, 탄소저장량을 산출할 수 있다. 탄소흡수량은 소정의 예상 시점의 탄소저장량과 그 다음 예상 시점의 탄소저장량의 차이를 통해 산출할 수 있다.

한편, 산림 목질계 바이오매스 부문에서 이용되는 탄소배출계수로는 목재기본밀도, 바이오매스확장계수(Biomass expansion factor), 뿌리함량비(Root-shoot ratio), 탄소전환계수(Carbon fraction) 등이 있으며, 이들 계수는 임목 또는 기타 흡수원에서의 부피단위를 중량단위(바이오매스)로 바꾸어 주는 역할을 한다. 국가 온실가스 인벤토리를 위해 선진국들은 자국 산림의 고유계수를 개발하여 이용하고 있으며, 우리나라도 2010년부터 산림과학원에서 주요 수종에 대한 각 계수들을 개발하고 있다. 또한, 산림과학원에서는 우리나라 주요 22개 수종에 대한 상대성장식을 개발하여 제공하고 있고, 상대성장식은 임목의 직경과 수고 정보를 통해 임목의 바이오매스를 추정하는데 활용될 수 있다. 이를 통해, 단목의 바이오매스 저장량을 산출할 수 있다.

도 6은 도 2는 도 1에 도시된 다른 실시예에 따른 연산부의 구성을 도시한 블록도이다. 도 6을 참고로, 본 발명의 다른 실시예에 따른 연산부(200)는 산림관리부(280)를 더 포함할 수 있다.

산림관리부(280)는 대상 임분에 대한 벌채 시업 여부를 선택한다. 임분에 대해 벌채가 이루어지는 경우에 임분 밀도에 큰 변화를 가져오고, 나아가 임분평균 흉교직경에도 영향을 미치므로, 벌채 여부를 추정하고 이를 임분 밀도 및 임분평균 흉교직경에 반영하는 것이 중요하다.

일 실시예로, 산림관리부(280)는 하기 [수학식 2]와 같이, 임분의 벌채 가능 여부, 수종, 임령, 연년벌채면적, 임도의 접근성을 기반으로 구축된 산림관리 시뮬레이션 모형을 운영할 수 있다.

[수학식 2]

$$PH_i = \sum [(Age_{kij} \geq FA_j) \cap (MA) \cap (FR)]$$

여기서, PH_i 는 i 연도의 잠재벌채 지역, Age_{kij} 는 k 임분, i 연도, j 수종의 임령, FA_j 는 j 수종의 법정벌기령, MA 는 관리 가능지역(고정), FR 은 임도의 접근성이다.

이에 따르면, 산림청이 제시한 수종별 법정벌기령에 도달한 임분을 잠재벌채 지역으로 설정하였다. 잠재벌채 지역 중, 사용자가 설정하고 데이터 획득부(210)에서 획득한 연년벌채면적만큼 벌채를 실시하고, 벌채 우선순위는 임도의 접근성과 임령, 임목축적에 따라 선정될 수 있다. 예를 들면, 1순위는 임령으로 잠재벌채 지역의 산림 중 임령이 높은 임분을 우선적으로 벌채하고, 2순위는 임목축적으로 임령이 동일한 경우에 임목축적이 높은 임분을 우선적으로 벌채하며, 각 연도의 벌채면적은 연년벌채면적을 초과하지 않으며, 해당 연도의 잠재벌채 지역이 연년벌채 면적 보다 작을 경우에 잠재벌채 지역 전부를 벌채하되, 그 이상은 벌채하지 않도록 정할 수 있다.

[0104] 위와 같이 산림관리부(280)의 시뮬레이션 구동에 의해 대상 임분에 대한 벌채 시업이 수행되는 경우, 임분밀도 산출부(240)는 대상 임분에 대해 추정되는 벌채 정보를 반영하여 임분밀도를 산출할 수 있다. 또한, 흉고직경 산출부도 대상 임분에 대한 추정 벌채 정보를 반영하여 임분평균 흉고직경을 산출할 수 있다. 결국, 산림관리부(280)는 산림관리 요인을 반영하는 것으로, 산림 예측부(270)는 전술한 기후·환경 요인에 대한 고려뿐만 아니라, 관리 요인을 고려하여 산림 성장량, 목재 생산량, 바이오매스, 탄소저장량, 탄소흡수량 등 산림 자원 및 탄소 변화 정보를 예측할 수 있다.

[0106] 이하에서는 실험예를 통해 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0108] 1. 개요

[0109] 도 7은 실험예에 따른 산림 자원 및 탄소 변화 예측 모델의 기본구조를 개략적으로 도시한 도면이다. 도 7을 참고로, 산림 자원 및 탄소 변화 예측 모델을 구현하기 위하여, 임분평균 흉고직경을 산출하는 직경성장모델(A: DBH growth model), 우세목수고 및 평균수고를 산출하는 수고성장모델(B: Height growth model), 추정 고사율을 기반으로 임분밀도를 산출하는 임목고사모델(C: Mortality model), 임분의 벌채 가능여부와 수종 그리고 임령, 연년벌채면적을 기반으로 하는 벌채 임분을 선정하는 산림관리모델(D: Management model), 임목축적을 산출하고 이를 기반으로 바이오매스 및 탄소저장량을 추정하는 바이오매스/탄소저장량 추정모델 을 구축하였다. 입력자료는 사용자가 대상 산림의 정보를 입력하는데 사용된다. 본 모형은 간단한 조사를 통해 파악할 수 있고, 산림계획 수립을 위한 가장 기본적인 정보인 수종, 우세목수고, 임분밀도, 대상 공간(좌표, 주소), 모의기간을 입력자료로 사용한다. 모형구동에서는 전국에서 관측된 기후정보와 기후변화시나리오에 따른 시·공간 기온 자료를 DB화하여 실시간으로 자료를 연동한다. 이를 통하여 사용자가 입력한 정보와 원하는 출력 자료에 따른 결과물을 산출한다. 먼저, 입력받은 정보로부터 해당 산림의 임령과 우세목 수고정보를 통해 지위지수와 임분의 밀도를 추정한다. 이후, 추정된 인자를 통하여 임분의 흉고직경을 산출한다. 산출된 임상의 정보와 관리 시나리오의 적용 정도에 따라 탄소량 및 목재량을 추정하여 결과로 나타낸다. 계산된 결과는 연별로 시공간단위로 표출됨에 따라 실무자가 손쉽게 사용할 수 있다.

[0110] 본 발명은 기후변화의 영향과 산림관리 유무에 따른 효과를 반영하여 미래 산림성장 변화를 예측하고, 이에 따른 최적산림관리계획 수립을 지원하기 위해 개발되었다. 임분밀도 변화에 따른 산림의 변화를 예측할 수 있는 동적성장모형으로 다양한 산림관리 시나리오를 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 전통적인 동적성장모형에서 간과하는 기후의 영향을 포함하여, 1년 단위로 생장이 이루어지는 온대림의 성장, 고사 및 수확량을 보다 정확하게 예측할 수 있다. 기존에 고안된 성장 및 고사모형과 국립산림과학원(National Institute of Forest Science, NIFoS)에서 개발한 우리나라 주요수종에 대한 탄소배출계수를 활용하여 개발되었으며, 국가산림자원조사 자료, 임상도, 지형자료, 산림관리 시나리오, 기후변화 시나리오 등을 모델 입력자료로 활용하여, 과거-현재-미래의 임목축적과 탄소량, 벌채량 등을 추정할 수 있다.

[0112] 2. 모델 알고리즘

[0113] 상기 모델들의 알고리즘은 전술한 논문, 산출식, 수확식 등에 기반하여 개발되었다. 본 실험예에 따른 모형은 기존의 산림 성장모형(Byun et al., 2013; Nam et al., 2015; Kim et al., 2017; Piao et al., 2018)을 고도화한 모형으로서 전통적인 동적성장모형에서 간과하는 기후의 영향을 포함하여, 1년 단위로 생장이 이루어지는 온대림의 성장을 보다 정확하게 예측하여 기후변화에 따른 미래 추정에 대한 불확실성을 낮출 수 있는 모형이다. 해당 모형은 한국의 생태적, 환경적 특성을 반영함에 따라 미래 기후변화에 따른 산림의 변화를 평가하는데 용이하다. 특히, 이러한 기후요인은 흉고직경과 고사율에 영향을 받는 것으로 구체화하였다(Kim et al., 2017; Piao et al., 2018). 나아가, 기후변화의 영향과 산림관리 유무에 따른 효과를 반영하여 미래 산림성장 변화를 예측하고, 이에 따른 최적산림관리계획 수립을 지원하기 위해 개발되었다.

[0114] 본 모델은 우리나라의 주요 7개 수종(소나무, 잣나무, 낙엽송, 굴참나무, 신갈나무, 혼효림1: 소나무+굴참나무, 혼효림2: 소나무+신갈나무)으로 유형화하고, 흉고 직경, 수고, 임분 밀도 등의 정보를 활용하여 임목의 축적을 도출할 수 있다(상기 [수확식 1] 참조). 각 수종별 계수는 국립산림과학원에서 개발한 계수를 활용하였다(산림

과학원, 2010).

- [0115] Piao et al., 2018은 흉고직경성장식을 유도하였다(식 2). 지위지수는 임목의 임령과 우세목수고에 의하여 산출되었으며, 임령은 임상도자료의 영급자료를 활용하여 분류한 후 NFI자료와 비교하여 산정하였다. 임분밀도는 Kim et al., 2017의 고사모형을 활용하여 분석되었다.
- [0116] Kim et al., 2017은 Sterba(1981, 1987)가 고안한 최대임목본수(Maximum stem number) 이론을 활용하여, 상대 밀도지수(Relative density index)를 도출하고, 이를 통해 임분의 고사율을 추정하는 알고리즘을 고안하였다. Sterba는 흉고직경발달식을 이용하여 우세목수고 및 평균흉고직경에 따른 최대임분밀도추정식을 유도하였다.
- [0117] 산림관리 알고리즘은 임분의 벌채 가능 여부, 수종, 임령, 연년벌채면적, 임도의 접근성을 기반으로 구축되었다 (상기 [수학식 2] 참조). 산림청이 제시한 수종별 법정벌기령에 도달한 임분을 잠재벌채 지역으로 설정하였다. 잠재 벌채 지역 중, 사용자가 설정한 연년벌채면적만큼 벌채를 실시하고, 벌채 우선순위는 임도의 접근성과 임령, 임목축적에 따라 선정되도록 개발하였다.
- [0119] 3. 임상정보 파악 및 예측
- [0120] 본 모형을 통하여, 현재정보를 파악하기 위해서는 입력자료로써, NFI 자료, 임상도, 지형자료 등을 통해 임상 (수종), 수고, 임령, 벌채가능 여부 등을 파악해야 한다. 이후, 임령과 우세목 수고정보를 통해 지위지수 (Site index)와 임분밀도를 추정한다(Model B, C). 나아가, 임령, 지위지수, 임분밀도를 통해 임분평균 흉고직 경을 추정한다(Model A). 이를 기반으로, 평균 흉고직경, 임분수고, 임분밀도를 통해 임분 재적과 탄소량, 목재 량을 추정한다.
- [0121] 미래정보를 파악하기 위해서는, 다음 시기의 임령(Age_{i+1})과 지위지수를 통해 임분평균수고(HM_{i+1})와 우세목수고 (HA_{i+1})를 추정한다(수고의 생장은 기후영향을 받지 않는 것으로 가정). 이후, HA_{i+1} 와 기후자료를 통해 다음 시 기의 임분밀도(SD_{i+1})를 추정한다. 나아가, SI, Age_{i+1} , SD_{i+1} 와 기후자료를 통해 다음 시기의 임분평균 흉고직경 (DBH_{i+1})을 추정하고, 이를 기반으로 $i+1$ 시기의 임분축적과 탄소저장량을 추정한다.
- [0122] 또한, $i+1$ 시기의 탄소저장량과 i 시기의 탄소저장량의 차이를 통해 탄소흡수량을 산출할 수 있으며, 산림관리 의사결정 알고리즘을 통해 벌채 시업이 적용된 임분의 임분재적은 목재와 벌채부산물로 전환되고, 바로 재조림 (임령 1)을 실시하는 것으로 가정한다.
- [0124] 4. 시나리오별 산림 자원 및 탄소 변화 예측
- [0125] 입력자료를 활용하여 아래 [표 6]과 같이 시나리오를 구축하고, 본 모형을 이용하여 시나리오별 산림 자원 및 탄소 변화를 예측하였다.

[0126] [표 6] 시나리오 예시

시나리오	내용
1	현재 기후 유지(기후변화 발생 없음) 과보호
2	RCP 8.5 기후변화 시나리오 과보호
3	RCP 8.5 기후변화 시나리오 현재 산림 사업 유지 법정벌채($\sim 15,000 \text{ ha} \cdot \text{yr}^{-1}$) 간벌($\sim 30\%$) 재조림
4	RCP 8.5 기후변화 시나리오 정책에 기반한 최적의 산림 사업 법정벌채($\sim 35,000 \text{ ha} \cdot \text{yr}^{-1}$) 간벌($\sim 30\%$) 재조림

[0127]

[0129] 도 8은 소정의 시나리오에 따른 산림 성장량을 시공간적으로 도출한 결과(Sc1: 현재기후지속, Sc2: 기후변화, Sc3: 기후변화와 현재수준의 산림관리, Sc4: 기후변화와 이상적인 산림관리)이다. 여기서, 연간 임목축적 차이에 따라 산림 성장량을 도출하였다. 그 결과, 시나리오에 따라 기간별로 임목축적에 차이가 나타났고, 그 임목축적을 기초로 산림 성장량을 예측할 수 있었다.

[0130] 도 9는 소정의 시나리오에 따른 산림의 이산화탄소흡수량을 시공간적으로 도출한 결과(Sc1: 현재기후지속, Sc2: 기후변화, Sc3: 기후변화와 현재수준의 산림관리, Sc4: 기후변화와 이상적인 산림관리)이고, 도 10은 소정의 시나리오에 따른 산림의 이산화탄소흡수량을 시계열적으로 도출한 결과(a: 현재기후지속, b: 기후변화, c: 기후변화와 현재수준의 산림관리, d: 기후변화와 이상적인 산림관리)이다. 본 모형을 활용하여, 성장량을 예측하고, 이를 기반으로 탄소흡수량을 예측한 결과, 도 9와 같이 본 모형은 시나리오별로 시공간단위 이산화탄소흡수량을 임분별로 예측하였다. 또한, 도 10과 같이 시나리오에 따른 이산화탄소흡수량을 시계열적으로 추정하였다.

[0131] 도 11은 유역 단위 시나리오에 따른 목재 수확 분포 도출 결과이고, 도 12는 유역 단위 시나리오에 따른 표준산림경영단위별 목재수확량 도출 결과이며, 도 13은 관리시나리오에 따른 목재수확량(m^3) 도출 결과이다. 도 11 내지 도 13을 참고로, 본 모형은 산림관리 의사결정에 기반하여, 법정벌채와 간벌이 수행되고, 이를 기반으로 목재 및 벌채부산물을 도출하였다.

[0133] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

[0134] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

[0136] 100: 입력부 200: 연산부
210: 데이터 획득부 220: 우세목수고 산출부
230: 평균수고 산출부 240: 임분밀도 산출부

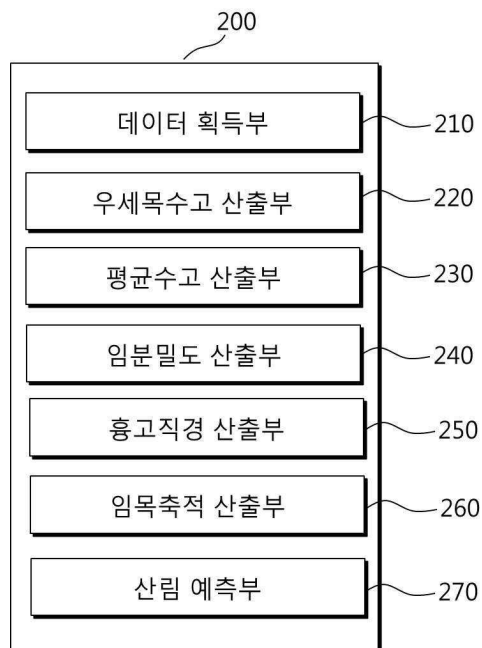
250: 흉고직경 산출부 260: 임목축적 산출부
 270: 산림 예측부 280: 산림관리부
 300: 저장부

도면

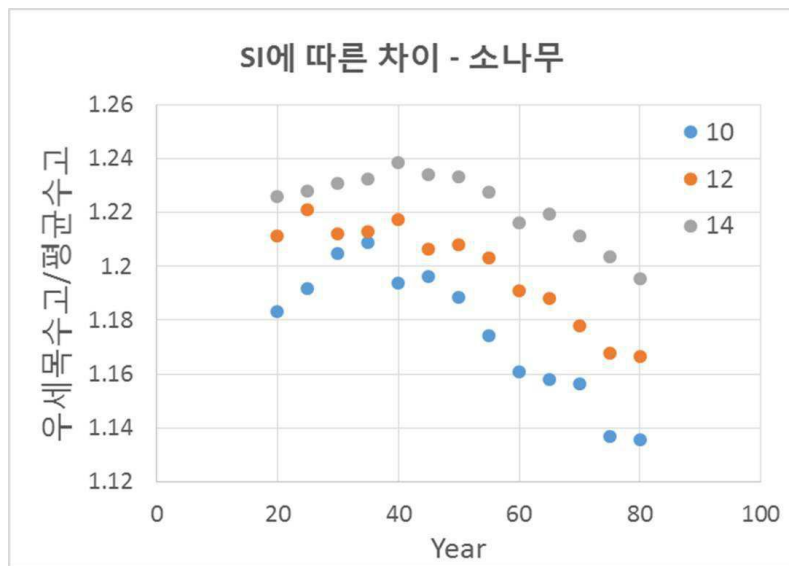
도면1



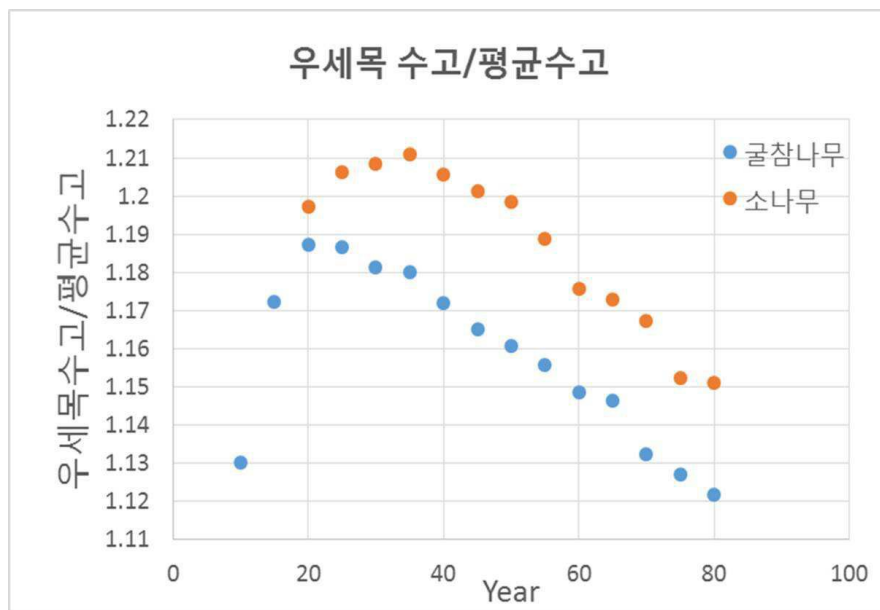
도면2



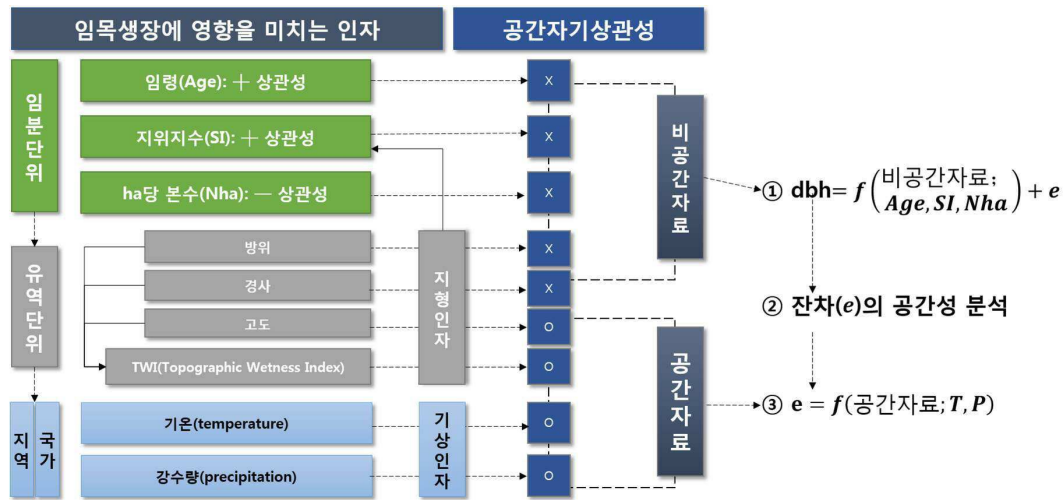
도면3



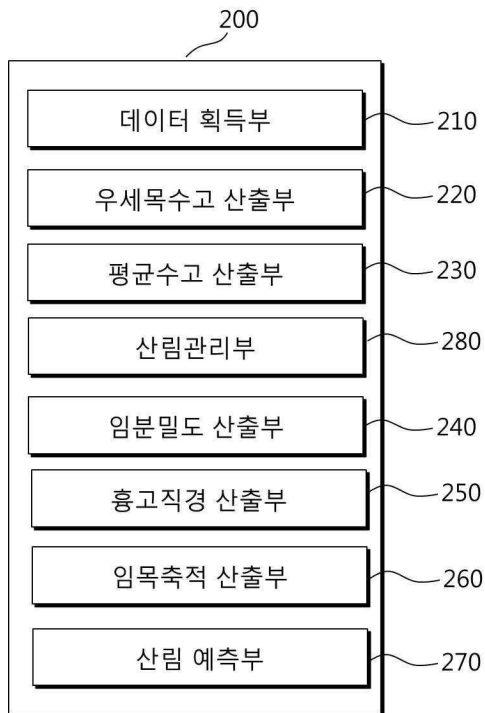
도면4



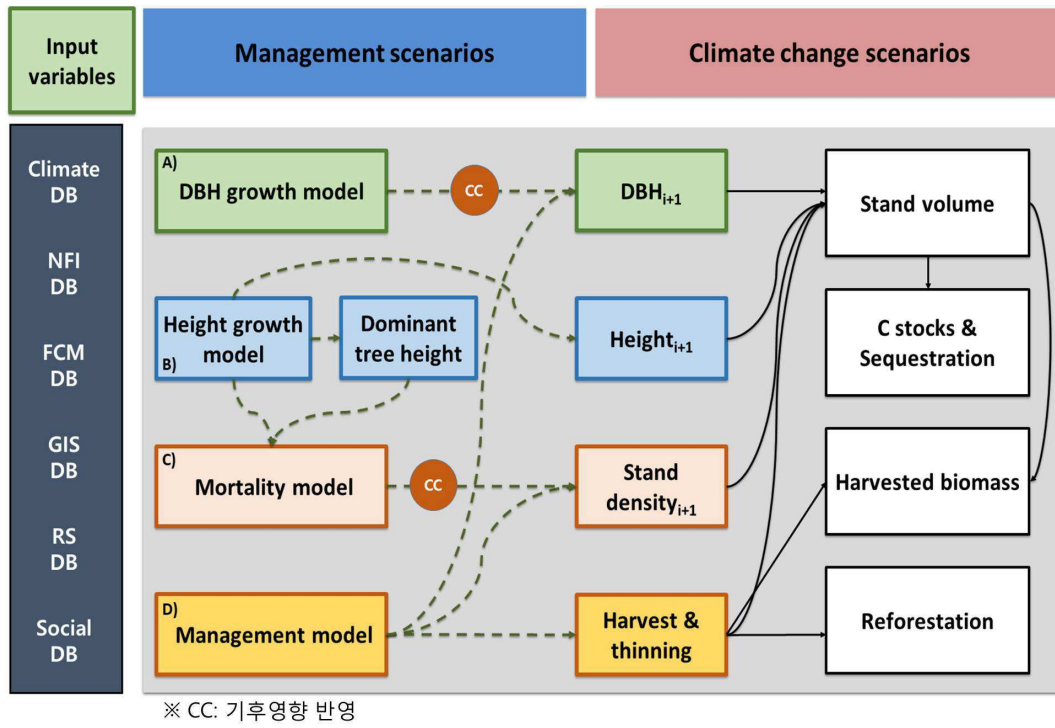
도면5



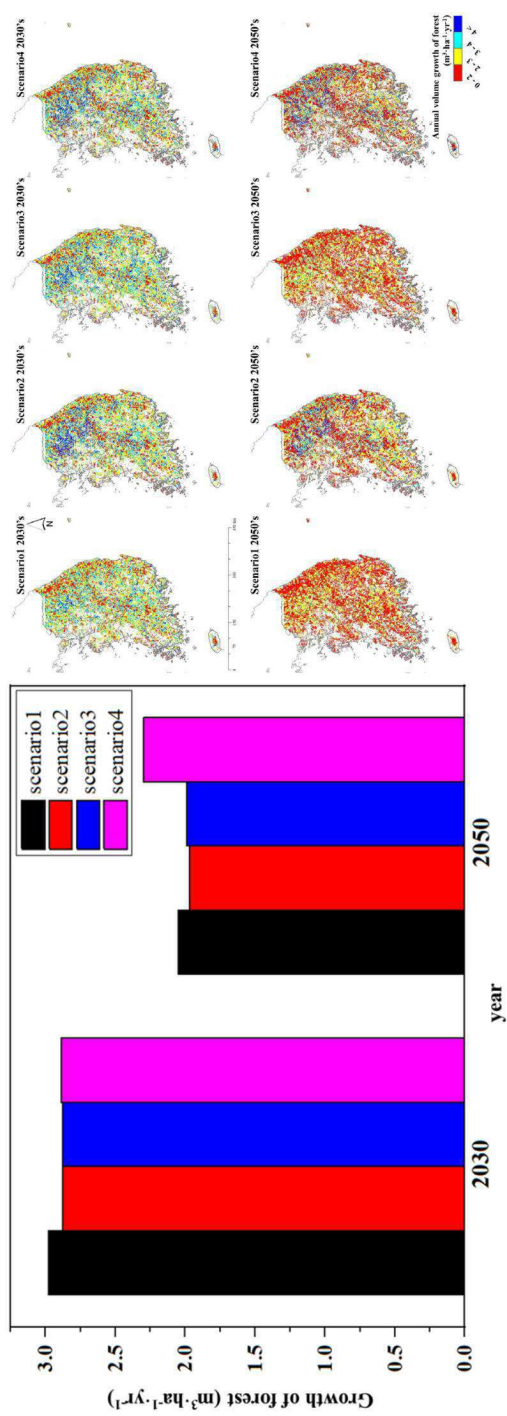
도면6



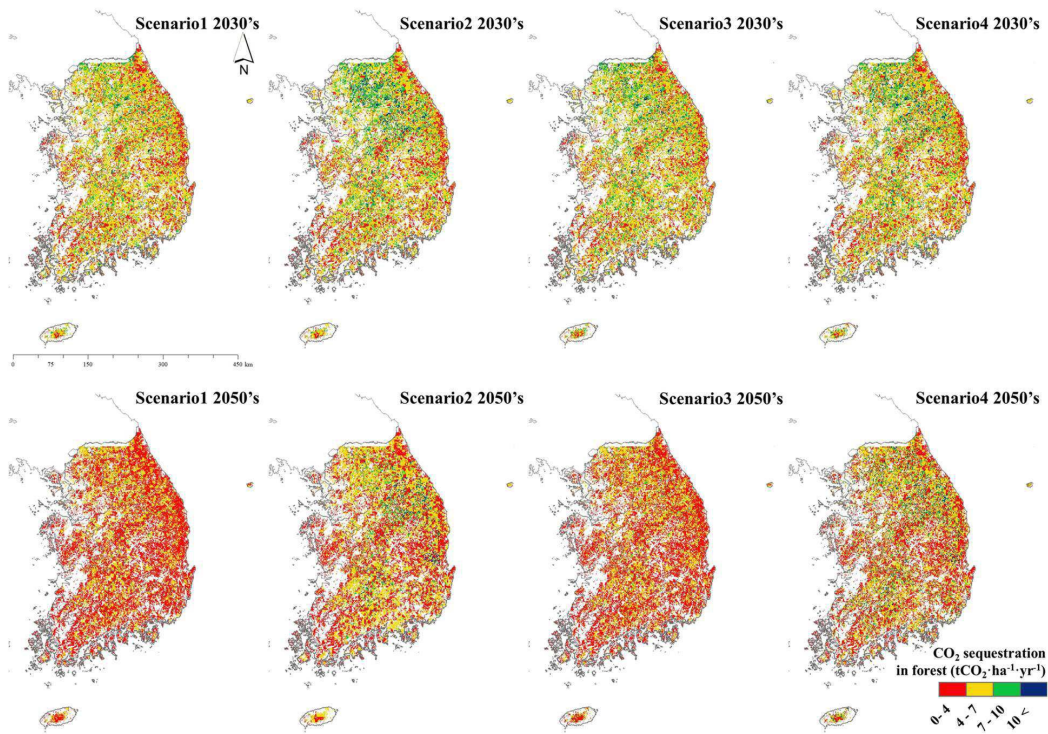
도면7



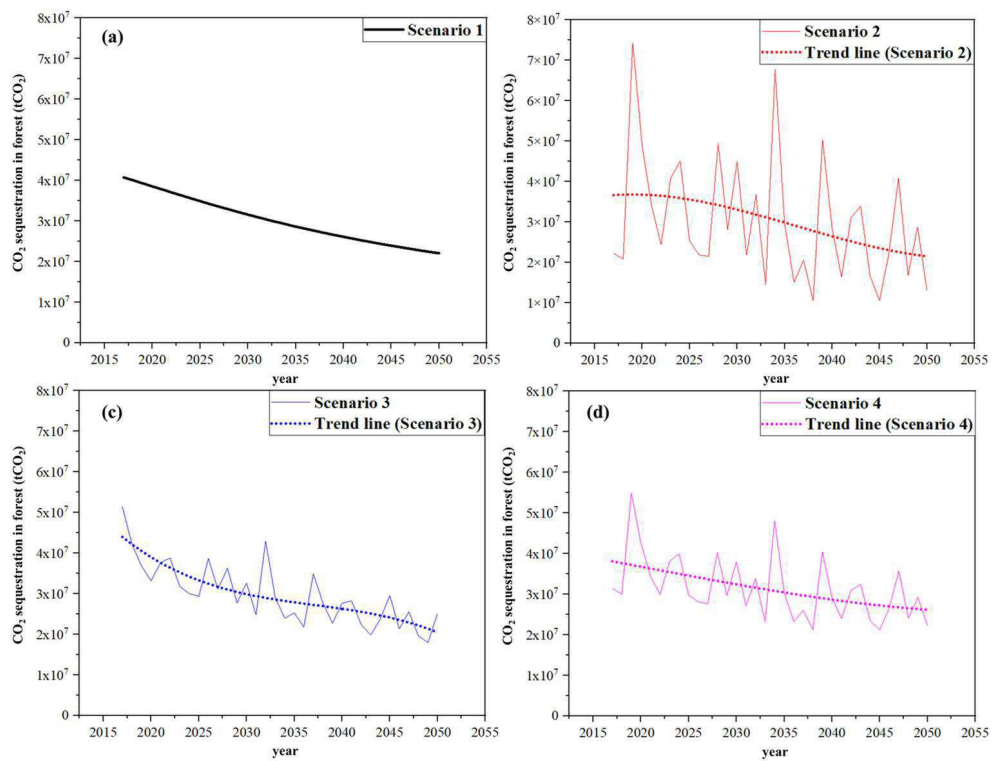
도면8



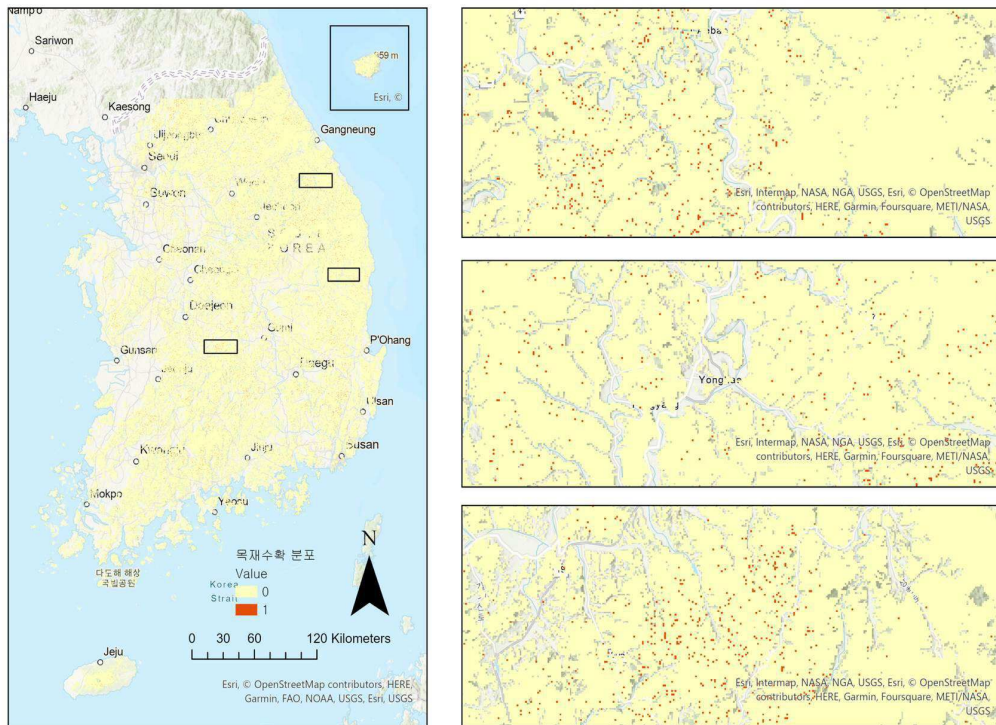
도면9



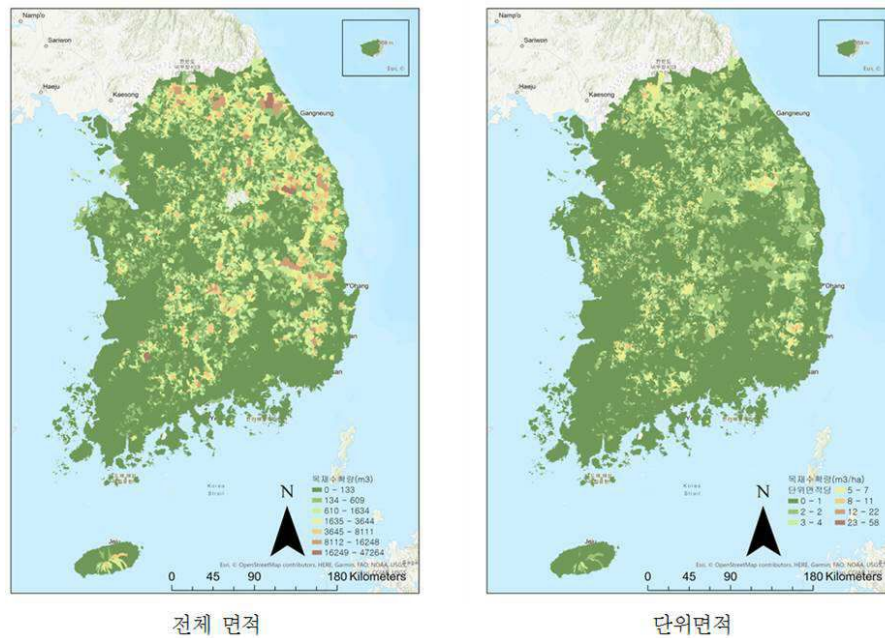
도면10



도면11



도면12



도면13

