



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0128151
(43) 공개일자 2017년11월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2012.01) G01W 1/10 (2006.01)
G06F 17/00 (2006.01) G06Q 10/04 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)
G01W 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0059561
(22) 출원일자 2017년05월12일
심사청구일자 2017년05월12일
(30) 우선권주장
1020160059089 2016년05월13일 대한민국(KR)

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
박선기
서울특별시 마포구 백범로 205, 102동 2103호 (신공덕동, 마포펜트하우스)
최용상
서울특별시 마포구 마포대로11길 50, 412동 301호 (공덕동, 래미안공덕4차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 10 항

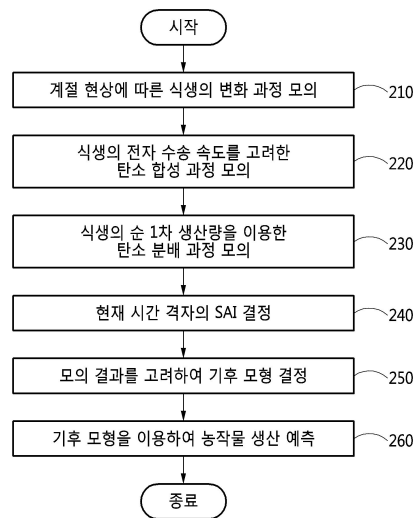
(54) 발명의 명칭 **동아시아에 최적화된 기후·환경 통합 예측 시스템 및 방법**

(57) 요약

동아시아에 최적화된 기후-환경 통합 예측시스템이 개시된다.

기후·환경 통합 예측 방법은 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 상기 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 단계; 상기 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 단계; 및 상기 탄소의 합성 과정 및 상기 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후 및 환경의 변화, 또는 상기 기후 및 환경의 변화에 따른 농산물의 변화를 예측하는 기후 모형을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 17/00 (2013.01)

G06Q 10/04 (2013.01)

(72) 발명자

이혜원

서울특별시 강서구 강서로 242, 120동 1106호 (화곡동, 강서힐스테이트)

김현주

서울특별시 영등포구 도신로54길 5-4 (대림동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0083527

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업-선도연구센터육성사업-이공학분야(ERC)

연구과제명 상호작용을고려한지역기후-육지표면과정결합모델개발(3총괄1세부)

기 여 율 1/1

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2009.09.01 ~ 2016.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 상기 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 단계;

상기 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 단계;
및

상기 탄소의 합성 과정 및 상기 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후 및 환경의 변화, 또는 상기 기후 및 환경의 변화에 따른 농산물의 변화를 예측하는 기후 모형을 결정하는 단계

를 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 탄소 합성 과정을 모의하는 단계는,

식물의 질소 프로파일에 따라 상기 식물의 광합성 기관이 가지는 카르복실화 능력을 결정하는 단계;

상기 카르복실화 능력을 기초로 식물의 잎의 엽록체의 구조에 따라 제한되는 전자 수송 속도(electron transport rate)를 결정하는 단계; 및

상기 전자 수송 속도를 고려하여 상기 식물의 잠재적 광합성량을 계산하는 단계

를 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 카르복실화 능력을 결정하는 단계는,

낮의 길이가 증가할수록 상기 카르복실화 능력이 증가하도록 결정하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 단계는,

시간 격자의 총 광합성량(GPP)과 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소의량을 이용하여 GMM(GPP minus maintenance respiration)를 결정하는 단계;

식물의 NPP가 상기 식물의 요소로 할당되는 비율 및 상기 식물의 연간 GMM을 이용하여 상기 식물의 요소별 탄소 할당을 결정하는 단계; 및

식물이 광합성을 하지 않은 기간인지 여부에 따라 탄소 저장소에 저장된 탄소를 공급하거나, 탄소 저장소로 탄소를 전송하는 단계

를 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

생장 계절의 시작 시점을 모의하는 단계; 및

상기 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의하는 단계

를 더 포함하고,

상기 기후 모형은

상기 계절 현상에 따른 식생의 변화를 고려하여 결정되는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 생장 계절의 시작 시점을 모의하는 단계는,

동지점을 기준으로 토양 온도, 모형 시간 해상도를 이용하여 생육도일(growing degree days)을 누적하는 단계;
및

누적된 상기 생육도일이 임계값을 초과하는 경우, 생장 계절이 시작되는 것으로 판단하는 단계

를 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 식생의 변화를 모의하는 단계는,

상기 생장 계절이 시작되는 경우, 탄소 저장소에 저장된 탄소를 일정 기간 동안 식물의 생장과 호흡에 이용하는 단계;

상기 생장 계절 동안 상기 식물의 잎과 줄기에 할당되는 광합성 산물 중 일부를 상기 탄소 저장소에 저장하는 단계; 및

상기 생장 계절이 종료되는 경우, 일정 기간 동안 식물의 잎과 줄기를 리터(litter)으로 변화시키는 단계

를 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

지역, 또는 식물에 따라 줄기 면적 지수(SAI: stem area index)의 최소값을 결정하는 단계; 및

이전 시간 격자의 SAI와 이전 시간 격자의 엽면적지수(LAI: leaf area index), 이전 시간 격자의 SAI 중 현재 시간 격자에 남은 SAI의 비율, 및 상기 SAI의 최소값을 이용하여 현재 시간 격자의 SAI를 결정하는 단계

를 더 포함하고,

상기 기후 모형은

상기 현재 시간 격자의 SAI를 고려하여 결정되는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 기후 모형에 농작물 생산량, 및 기상 자료를 입력하여 기후·환경에 따른 농작물 생산을 예측하는 단계

를 더 포함하는 기후·환경 통합 예측 방법.

청구항 10

식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 상기 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 탄소 합성 과정 모의부;

상기 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 탄소 분배 과정 모의부; 및

상기 탄소의 합성 과정 및 상기 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후 및 환경의 변화, 또는 상기 기후 및 환경의

변화에 따른 농산물의 변화를 예측하는 기후 모형을 결정하는 기후 모형 결정부를 포함하는 기후·환경 통합 예측 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 동아시아에 최적화된 기후·환경 통합 예측 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전 세계는 2015년 12월 파리 기후협약 체결로 온실가스로 인한 기후변화를 적극적으로 억제하고, 석탄석유 중심의 에너지 소비구조에서 탈피, 개도국 기후변화 대책 마련에 동의하였다.

[0003] 미국, 유럽 선진국에서 주로 개발되는 Noah-MP와 같은 미래 기후·환경 예측모형들은 해당 개발 지역에 대해서는 높은 예측성을 갖고 있으나, 우리나라를 포함한 동아시아에 대해서는 예측 성능이 상대적으로 낮다.

[0004] 따라서, 동아시아에 최적화된 기후·환경 예측 모형이 요청되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정과 함께 계절 현상에 따른 식생의 변화 또는 SAI를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정함으로써, 기후, 또는 환경의 변화를 미리 예측하는 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법은 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 상기 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 단계; 상기 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 단계; 및 상기 탄소의 합성 과정 및 상기 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후 및 환경의 변화, 또는 상기 기후 및 환경의 변화에 따른 농산물의 변화를 예측하는 기후 모형을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 상기 탄소 합성 과정을 모의하는 단계는, 식물의 질소 프로파일에 따라 상기 식물의 광합성 기관이 가지는 카르복실화 능력을 결정하는 단계; 상기 카르복실화 능력을 기초로 식물의 잎의 엽록체의 구조에 따라 제한되는 전자 수송 속도(electron transport rate)를 결정하는 단계; 및 상기 전자 수송 속도를 고려하여 상기 식물의 잠재적 광합성량을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 카르복실화 능력을 결정하는 단계는, 낮의 길이가 증가할수록 상기 카르복실화 능력이 증가하도록 결정할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 탄소의 분배 과정을 모의하는 단계는, 시간 격자의 총 광합성량(GPP)과 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소의 양을 이용하여 GMM(GPP minus maintenance respiration)를 결정하는 단계; 식물의 NPP가 상기 식물의 요소로 할당되는 비율 및 상기 식물의 연간 GMM을 이용하여 상기 식물의 요소별 탄소 할당을 결정하는 단계; 및 식물이 광합성을 하지 않은 기간인지 여부에 따라 탄소 저장소에 저장된 탄소를 공급하거나, 탄소 저장소로 탄소를 전송하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법은 생장 계절의 시작 시점을 모의하는 단계; 및 상기 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의하는 단계를 더 포함하고, 상기 기후 모형은 상기 계절 현상에 따른 식생의 변화를 고려하여 결정될 수 있다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 상기 생장 계절의 시작 시점을 모의하는 단계는, 동지점을 기준으로 토양 온도, 모형 시간 해상도를 이용하여 생육도일(growing degree days)을 누적하는 단계; 및 누적된 상기 생육도일이 임계값을 초과하는 경우, 생장 계절이 시작되는 것으로 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

다.

[0012] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 상기 식생의 변화를 모의하는 단계는, 상기 생장 계절이 시작되는 경우, 탄소 저장소에 저장된 탄소를 일정 기간 동안 식물의 생장과 호흡에 이용하는 단계; 상기 생장 계절 동안 상기 식물의 잎과 줄기에 할당되는 광합성 산물 중 일부를 상기 탄소 저장소에 저장하는 단계; 및 상기 생장 계절이 종료되는 경우, 일정 기간 동안 식물의 잎과 줄기를 리터(litter)로 변화시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법은 지역, 또는 식물에 따라 줄기 면적 지수(SAI: stem area index)의 최소값을 결정하는 단계; 및 이전 시간 격자의 SAI와 이전 시간 격자의 엽면적지수(LAI: leaf area index), 이전 시간 격자의 SAI 중 현재 시간 격자에 남은 SAI의 비율, 및 상기 SAI의 최소값을 이용하여 현재 시간 격자의 SAI를 결정하는 단계를 더 포함하고, 상기 기후 모형은 상기 현재 시간 격자의 SAI를 고려하여 결정될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법은 상기 기후 모형에 농작물 생산량, 및 기상 자료를 입력하여 기후·환경에 따른 농작물 생산을 예측하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 시스템은 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 상기 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 탄소 합성 과정 모의부; 상기 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 상기 탄소의 분배 과정을 모의하는 탄소 분배 과정 모의부; 및 상기 탄소의 합성 과정 및 상기 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후 및 환경의 변화, 또는 상기 기후 및 환경의 변화에 따른 농산물의 변화를 예측하는 기후 모형을 결정하는 기후 모형 결정부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 일실시예에 의하면, 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정과 함께 계절 현상에 따른 식생의 변화 또는 SAI를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정함으로써, 기후, 또는 환경의 변화를 미리 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 시스템을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법을 도시한 플로우차트이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 식생의 변화 모의 과정을 도시한 플로우차트이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 탄소 합성 모의 과정을 도시한 플로우차트이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 탄소 분배 모의 과정을 도시한 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법은 기후·환경·통합 예측 시스템에 의해 수행될 수 있다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 시스템을 나타내는 도면이다.

[0020] 기후·환경 통합 예측 시스템(100)은 도 1에 도시된 바와 같이 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130), SAI 결정부(140), 기후 모형 결정부(150) 및 농작물 생산 예측부(160)를 포함할 수 있다. 이때, 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130), SAI 결정부(140), 기후 모형 결정부(150) 및 농작물 생산 예측부(160)는 하나의 프로세스에서 수행되는 프로그램에 포함된 각각의 모듈, 또는 서로 다른 프로세스일 수 있다.

[0021] 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의할 수 있다. 이때, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 식생이 성장하는 생장 계절의 시작 시점을 모의할 수 있다. 그리고, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절의 시작 시점 및 종료 시점을 고려하여 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의

변화 과정을 모의할 수 있다.

- [0022] 식생의 변화 과정 모의부(110)가 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의하는 구체적인 동작은 이하 도 3을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0023] 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의할 수 있다. 이때, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물의 질소 프로파일에 따라 상기 식물의 광합성 기관이 가지는 카르복실화 능력을 결정할 수 있다. 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 카르복실화 능력을 기초로 식물의 잎의 엽록체의 구조에 따라 제한되는 전자 수송 속도(electron transport rate)를 결정할 수 있다. 그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 결정한 전자 수송 속도를 고려하여 식물의 잠재적 광합성량을 계산할 수 있다.
- [0024] 탄소 합성 과정 모의부(120)가 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의하는 구체적인 동작은 이하 도 4를 참조하여 상세히 설명한다.
- [0025] 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식생의 순 1차 생산량(NPP: net primary productivity)을 이용한 탄소의 분배 과정을 모의할 수 있다. 나무 한 개체의 NPP (순 생산량)가 잎, 뿌리, 줄기로 할당되는 비율이 대체로 일정하므로, 관측된 할당 비율과 식물 연간 총 NPP를 이용하여, 요소 별 탄소 할당을 계산할 수 있다. 따라서, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 GPP에서 식물의 총 유지호흡을 먼저 제거한 후, 관측된 NPP에 대한 할당 비율을 적용할 수 있다.
- [0026] 구체적으로, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 시간 격자의 총 광합성량(GPP)과 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소의 양을 이용하여 GMM(GPP minus maintenance respiration)를 결정할 수 있다. 그리고, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식물의 NPP가 식물의 요소로 할당되는 비율 및 상기 식물의 연간 GMM을 이용하여 식물의 요소별 탄소 할당을 결정할 수 있다.
- [0027] 또한, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식물이 광합성을 하지 않은 기간인지 여부에 따라 탄소 저장소에 저장된 탄소를 공급하거나, 탄소 저장소로 탄소를 전송할 수 있다. 구체적으로, 식물이 광합성을 하지 않은 기간인 경우, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 음수의 탄소 저장소로부터 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소를 공급할 수 있다. 그리고, 식물이 광합성을 하는 기간인 경우, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 잎에서 생성된 탄소 중 일부를 탄소 저장소에 저장할 수 있다.
- [0028] 탄소 분배 과정 모의부(130)가 식생의 NPP를 이용한 탄소의 분배 과정을 모의하는 구체적인 동작은 이하 도 5를 참조하여 상세히 설명한다.
- [0029] SAI 결정부(140)는 엽면적지수(LAI: leaf area index)를 이용하여 기후 모형에서 사용할 줄기 면적 지수(SAI: stem area index)를 결정할 수 있다. SAI는 식생에 포함된 식물의 지상 부분에서 광합성을 수행하는 잎을 제외한 나머지 면적을 나타내는 인자이며, 캐노피 레이어(layer)에 입사된 단파의 흡수 및 투과와 관련된 값일 수 있다.
- [0030] 종래의 기후 모형인 NoahMP는 식물의 줄기(stem) 부분을 잎(leaf), 목재(wood), 뿌리(root)와 별도로 분류하고 있었다. 그러나, 식물의 줄기(stem)는 목재(wood)와 의미상으로 중복되며, 줄기(stem)는 생장하더라도 죽은 잎보다 식생에 대한 기여가 적으므로, SAI 결정부(140)는 줄기(stem)를 식생의 요소로 분류하지 않을 수 있다.
- [0031] 따라서, SAI 결정부(140)는 줄기에 달려있는 죽은 잎과 태양일사를 가릴 가능성이 있는 잔가지들의 양을 면적으로 환산하여 SAI를 결정할 수 있다. 예를 들어, SAI 결정부(140)는 수학적 식 1을 사용하여 SAI를 결정할 수 있다.

수학적 식 1

$$SAI = \text{MAX}(SAI_old \times SAI_alpha + \text{MAX}(LAI_old - LAI, 0), SAI_min)$$

[0032]

- [0033] 이때, SAI_old와 LAI_old는 각각 이전 시간 격자의 SAI와 LAI이고, SAI와 LAI는 각각 현재 시간 격자의 SAI와 LAI일 수 있다. 또한, SAI_alpha는 이전 시간격자의 SAI에 대한 현재 시간 격자의 SAI의 비율이며, SAI 결정부(140)에 주어지는 정보일 수 있다. 그리고, SAI_min은 SAI의 최소값이다.

[0034] SAI 결정부(140)가 결정하는 현재 시간 격자의 SAI는 줄기에 달려있는 죽은 잎과 태양일사를 가릴 가능성이 있는 잔가지들의 양에 따라 결정되며, 죽은 잎은 시간의 경과에 따라 떨어지므로, 현재 시간 격자의 SAI는 이전 시간격자의 SAI보다 감소할 수 있다. 즉, SAI_alpha는 시간의 경과에 따라 죽은 잎이 줄기에서 떨어지는 비율일 수 있다.

[0035] 따라서, SAI 결정부(140)는 SAI_old에 SAI_alpha를 곱한 값을 이용하여 이 현재 시간 격자의 SAI를 추정함으로써, 현재 시간 격자의 SAI를 추정하는 과정에서 시간의 경과에 따라 죽은 잎이 줄기에서 떨어지는 현상을 고려할 수 있다.

[0036] SAI는 지역, 그리고 식생의 유형에 따라 다르므로, 일반적으로 사용되는 SAI의 값과 동아시아에 최적화된 SAI의 값은 서로 다를 수 있다. 따라서, SAI 결정부(140)는 표 1과 같은 SAI의 최소값을 설정할 수 있다.

표 1

Vegetation type	SAI_min
Deciduous broadleaf forest	1.3
Deciduous needleleaf forest	1.5
Evergreen needleleaf forest	2.3
Mixed forest	2.0

[0037]

[0038] 기후 모형 결정부(150)는 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130), SAI 결정부(140)의 처리 결과를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정할 수 있다. 이때, 기후 모형은 기후, 또는 환경의 변화를 예측하는 모형이거나, 기후 및 환경의 변화에 따른 식생, 또는 농산물의 변화를 예측하는 모형일 수 있다.

[0039] 예를 들어, 기후 모형 결정부(150)는 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정을 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정할 수 있다. 또한 기후 모형 결정부(150)는 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정과 함께 계절 현상에 따른 식생의 변화 또는 SAI를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정할 수도 있다.

[0040] 구체적으로, 기후 모형 결정부(150)는 식생의 변화 과정 모의부(110)가 모의한 계절 현상에 따른 식생의 변화를 이용하여 식물이 성장하는 성장 계절과 식물의 생장이 멈추는 휴지기를 결정할 수 있다. 이때, 휴지기에는 식물에서 광합성이 발생하지 않으며, 광합성으로 합성한 탄소를 분배하여 식물이 성장하지도 않으므로, 기후 모형 결정부(150)는 휴지기에는 탄소 합성 과정 모의부(120) 및 탄소 분배 과정 모의부(130)가 동작하지 않도록 설정할 수 있다.

[0041] 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 성장 계절에 식생에 포함된 식물들이 합성하는 탄소의 양인 광합성량을 결정할 수 있다. 그리고, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식물들이 합성한 탄소의 분배 과정을 모의하여 탄소가 분배된 잎, 목재, 뿌리 등의 생질량 변화량을 결정할 수 있다.

[0042] 이때, 기후 모형 결정부(150)는 계절 현상에 따른 식생의 변화, 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정을 이용하여 주어진 환경 내에서 주어진 식생 유형의 광합성량과, 광합성의 결과물에 따라 주어진 식생에 포함된 식물들의 요소들 각각이 얼마나 질량이 증가했는지 모의할 수 있다.

[0043] 그리고, 기후 모형 결정부(150)는 식생이 존재하는 지면의 복사량에 영향을 주는 SAI를 기초로 지면 기온을 추정하고, 추정한 지면 기온을 식생의 변화 과정 모의부(110), 및 탄소 합성 과정 모의부(120)에 입력시킴으로써, 식생의 변화 과정 모의부(110), 및 탄소 합성 과정 모의부(120)가 기온의 변화에 따른 계절 현상 및 광합성량을 결정하도록 할 수 있다.

[0044] 그리고, 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130)는 미리 지정된 매개 변수를 사용할 수 있다.

[0045] 또한, 기후 모형 결정부(150)는 유전 알고리즘을 이용하여 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130)의 조합, 및 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130)에서 최적의 성능을 가지는 매개 변수의 조합을 탐색할 수 있다.

[0046] 이때, 기후 모형 결정부(150)는 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130)의 조합 및 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130)의 조합에서 사용하는 매개 변수들의 조합을 가지는 기후 모형을 결정할 수 있다.

[0047] 예를 들어, 기후 모형 결정부(150)는 1981-2010년(30년)의 미국농업생산량 및 재배면적의 농업생산량 정보와 동일 기간의 5-10월의 온도 및 강우 월별 정보를 활용하여 표 2와 같은 변수를 가지고 있는 기후 모형을 결정할 수 있다.

표 2

구분	시간 ($\sqrt{t}$)	온도		강우	
		May	July	August	September
D1	1.916	-	-	-	-0.801
D2	1.833	-	-	-0.863	-
D3	0.959	-	-	-1.086	-
D4	2.094	1.933	1.105	-	-
D5	2.152	1.723	0.786	-1.005	-

[0048]

[0049] 농작물 생산 예측부(160)는 기후 모형 결정부(150)가 결정한 기후 모형에 농작물 생산량, 및 기상 정보를 입력하여 기후·환경에 따른 농작물 생산을 예측할 수 있다.

[0050] 이때, 농작물 생산 예측부(160)는 기후 모형 결정에 사용한 정보를 사용하여 해당 기간의 이후 농작물 생산을 예측할 수 있다. 그리고, 농작물 생산 예측부(160)는 예측 결과와 동일한 기간의 농업 생산량 정보를 이용하여 기후 모형의 예측 성능을 평가할 수 있다. 예를 들어, 농작물 생산 예측부(160)는 기후 모형을 이용하여 2011-2014년의 미국농업생산량 및 재배면적의 농업생산량을 예측할 수 있다. 그리고, 농작물 생산 예측부(160)는 2011-2014년의 실제 미국농업생산량 및 재배면적의 농업생산량 정보와 예측 결과를 비교하여 예측 성능을 평가할 수 있다.

[0051] 예를 들어, 농작물 생산 예측부(160)는 IPCC AR5 RCP8.5 미래 기후 시나리오의 온도 증가와 강우패턴 변화 정보를 활용하여 잠재 농업 생산량을 예측할 수 있다. 이때, 미래 기후 시나리오는 저해상도 1.0° X1.0° CESM(the Community Earth System Model) GCM 정보와 CESM 모의 결과를 경계정보로 활용하여 생산한 고해상도 12.5km X12.5km WRF(Weather Research and Forecast) RCM 정보일 수 있다. 또한, 미래기후 시나리오는 해상도를 고려하여 단기 미래(2015-2035년)와 중기 미래(2045-2065년)로 구분될 수 있다.

[0052] 농작물 생산 예측부(160)의 미래기후 시나리오 해상도에 따른 곡물생산량의 시공간적 분포 변화 예측에 따르면, 단기 미래에 비하여 중기 미래의 공간적인 잠재 농업 생산량의 변화가 클 수 있다. 또한, 농작물 생산 예측부(160)는 미래 기후 시나리오의 저해상도의 예측 결과에 포함된 하나의 격자 내에서 고해상도의 예측 결과에 따른 농업생산량의 변화가 크게 나타날 수 있다.

[0053] 이때, 지역의 고도가 높을수록 온도와 강우 변화에 따른 잠재적 농업생산량의 감소율이 크고, 고도가 낮을수록 잠재적 농업생산량의 증가율이 클 수 있다.

[0054] 그리고, 농작물 생산 예측부(160)는 예측 결과와 해당 기간의 실제 농업 생산량 정보의 비교 결과에 따라 기후 모형에 사용되는 파라미터를 수정할 수 있다.

[0055] 예를 들어, 농작물 생산 예측부(160)는 표 3에 도시된 바와 같이 기후 모형에 사용되고 있던 Ori 파라미터들을 Adj 파라미터들로 수정할 수 있다.

표 3

Vegetation type	LTOVRC		DILEFC		SLA		VCMX25	
Version	Ori.	Adj.	Ori.	Adj.	Ori.	Adj. [†]	Ori.	Adj. [†]
Deciduous broadleaf forest	0.55	1.0	0.6	0.6	80	30.8	60.0	57.7
Deciduous needleleaf forest	0.2	0.2	1.8	1.8	80	80	60.0	60.0
Evergreen needleleaf forest	0.5	0.25	1.2	0.8	80	10	50	62.5
Mixed forest	0.5	0.5	0.8	2.2	80	20	55.0	55.0

[†] Kattge et al. (2011)

[0056]

[0057]

본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 시스템(100)은 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정과 함께 계절 현상에 따른 식생의 변화 또는 SAI를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정함으로써, 기후, 또는 환경의 변화를 미리 예측할 수 있다.

[0058]

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법을 도시한 플로우차트이다.

[0059]

단계(210)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의할 수 있다. 이때, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 식생이 생장하는 생장 계절의 시작 시점을 모의할 수 있다. 그리고, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절의 시작 시점 및 종료 시점을 고려하여 생장 계절의 계절 현상에 따른 식생의 변화 과정을 모의할 수 있다.

[0060]

단계(220)에서 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식생의 전자 수송 속도의 상한을 고려하여 식생의 광합성을 통한 탄소의 합성 과정을 모의할 수 있다. 이때, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물의 질소 프로파일에 따라 상기 식물의 광합성 기관이 가지는 카르복실화 능력을 결정할 수 있다. 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 카르복실화 능력을 기초로 식물의 잎의 엽록체의 구조에 따라 제한되는 전자 수송 속도를 결정할 수 있다. 그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 결정한 전자 수송 속도를 고려하여 식물의 잠재적 광합성량을 계산할 수 있다.

[0061]

단계(230)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식생의 NPP를 이용한 탄소의 분배 과정을 모의할 수 있다. 이때, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 시간 격자의 총 광합성량(GPP)과 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소의 양을 이용하여 GMM을 결정하고, 식물의 NPP가 식물의 요소로 할당되는 비율 및 상기 식물의 연간 GMM을 이용하여 식물의 요소별 탄소 할당을 결정할 수 있다.

[0062]

단계(240)에서 SAI 결정부(140)는 LAI를 이용하여 기후 모형에서 사용할 SAI를 결정할 수 있다.

[0063]

단계(250)에서 기후 모형 결정부(150)는 식생의 변화 과정 모의부(110), 탄소 합성 과정 모의부(120), 탄소 분배 과정 모의부(130), SAI 결정부(140)의 처리 결과를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정할 수 있다.

[0064]

단계(260)에서 농작물 생산 예측부(160)는 단계(250)에서 결정한 기후 모형에 농작물 생산량, 및 기상 정보를 입력하여 기후·환경에 따른 농작물 생산을 예측할 수 있다.

[0065]

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 식생의 변화 모의 과정을 도시한 플로우차트이다. 이때, 도 3의 단계(310) 내지 단계(360)은 도 2의 단계(210)에 포함될 수 있다.

[0066]

단계(310)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 동지점을 기준으로 토양 온도, 모형 시간 해상도를 이용하여 생육도일(growing degree days)을 누적할 수 있다. 예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 수확식 2를 사용하여 생육도일인 onset_gdd를 결정할 수 있다.

수학식 2

$$onset_gdd = onset_gdd + (soilt - 273.16) \frac{dt}{24 \times 60 \times 60}$$

[0067]

[0068]

[0069]

[0070]

[0071]

[0072]

이때, soilt는 토양온도, dt는 모형 시간 해상도이다. 그리고, 동지점에서 생육도일은 0으로 초기화될 수 있다.

식물이 성장하는 성장 계절과 식물의 생장이 멈추는 휴지기와 같은 계절 현상은 주어진 기후/환경을 효과적으로 이용하기 위한 식물의 계절 발달적 반응이다. 그리고, 리터(litter)성 식물은 성장 계절 내에만 광합성을 하므로, 광합성과 이에 관계된 식물 영향을 모사하기 위해서는 성장 계절의 시작 시점 및 종료 시점을 확인하는 것이 필요하다. 그리고, 계절 현상은 기온 및, 낮의 길이에 따라 발생할 수 있다.

따라서, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생육도일을 이용하여 성장 계절의 시작 및 종료를 판단할 수 있다. 이때, 생육도일은 농작물의 종류에 따른 일평균기온과 기본온도(base temperature)간의 차이를 생육기간 전체에 대해 합계한 도일(度日)이며, 작물 재배의 적지나 품종선정의 지표가 되는 정보일 수 있다.

단계(320)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 성장 계절이 시작되는지 여부를 판단할 수 있다. 단계(310)에서 누적된 생육도일이 임계값을 초과하는 경우, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 성장 계절이 시작되는 것으로 판단하여 단계(330)를 수행할 수 있다. 또한, 단계(310)에서 누적된 생육도일이 임계값 이하인 경우, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 누적된 생육도일이 임계값을 초과할 때까지 단계(310)를 반복 수행할 수 있다.

예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 수학식 3을 사용하여 생육도일의 임계값인 crit_onset_gdd를 결정할 수 있다.

수학식 3

$$crit_onset_gdd = 34.5 \times (annavg_t2g - 273.16) + 50.2$$

[0073]

[0074]

[0075]

[0076]

[0077]

[0078]

이때, annavg_t2g는 연 평균 기온일 수 있다. 또한, 수학식 3은 한국의 관측 값을 이용한 경험식이므로, 예측하고자 하는 지역에 따라 변경될 수 있다.

단계(330)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 탄소 저장소에 저장된 탄소를 일정 기간 동안 식물의 성장과 호흡에 이용할 수 있다.

성장계절의 시작과 종료에 따른 가장 두드러진 계절현상은 각각 급격한 발아와 리터(litter)이다. 다년생 식물들은 다음해 봄철 발아를 위한 에너지와 양분을 성장 계절기간 동안 비축하고 있으므로, 봄철 광합성량에 상관없이 신속한 발아와 생장이 가능하다. 따라서, 기후·환경 통합 예측 시스템(100)은 광합성 산물이 저장되는 탄소 저장소(carbon_storage)를 설정하고, 성장 계절이 시작된 경우, 탄소 저장소에 저장된 광합성 산물을 식물의 성장과 호흡에 이용하도록 할 수 있다. 이때, 탄소 저장소에 저장된 광합성 산물은 식물 내 생체 에너지 및 생체량을 대표하는 탄소로 표현할 수 있다.

구체적으로, 성장 계절이 시작되면 식생의 변화 과정 모의부(110)는 탄소 저장소에 저장된 탄소의 절반을 임시 탄소 저장소인 carbon_xfer로 이동시킬 수 있다. 이때, 임시 탄소 저장소는 성장 계절의 시작 시기에 사용되는 탄소 저장소일 수 있다. 또한, 임시 탄소 저장소는 성장 계절의 시작 시기에 사용되는 탄소가 임시로 저장된 탄소 저장소이므로, 성장 계절이 시작된 후 일정 시간이 경과하면 0이 되고, 다음 성장 계절 시작일까지 0인 상태가 유지될 수 있다.

그리고, 임시 탄소 저장소로 이동된 탄소는 이후 30일에 걸쳐서 식생의 성장과 호흡에 이용되도록 공급될 수 있다. 예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 수학식 4 내지 수학식 7에 따라 탄소를 공급할 수 있다.

수학식 4

$$t1 = \begin{cases} 1/dt & \text{for } onset_counter = dt \\ 2/onset_counter & \text{for } onset_counte \neq dt \end{cases}$$

[0079]

수학식 5

$$carbon_xfer_to_cpool = t1 \times carbon_xfer$$

[0080]

수학식 6

$$carbon_xfer = carbon_xfer - carbon_xfer_to_cpool \times dt$$

[0081]

수학식 7

$$CARBFX = CARBFX + carbon_xfer_to_cpool$$

[0082]

[0083] 이때, **onset_counter**는 탄소를 공급할 30일 중 남은 기간이고, carbon_xfer_to-cpool은 생장과 호흡에 이용할 수 있도록 임시 탄소 저장소로부터 공급되는 탄소 량일 수 있다. 그리고, CARBFX는 30일 동안 생장과 호흡에 이용되는 총 탄소 량일 수 있다.

[0084] 단계(340)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절 동안 식물의 잎과 줄기에 할당되는 광합성 산물 중 일부를 탄소 저장소에 저장할 수 있다. 예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 잎과 줄기에 할당되는 광합성 산물인 탄소 중 호흡으로 소비되는 부분을 제외한 나머지의 5%를 탄소 저장소에 저장할 수 있다.

[0085] 단계(350)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절이 종료되었는지 여부를 확인할 수 있다. 단계(350)에서 낮 시간이 임계값을 초과하는 경우, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절이 종료되는 것으로 판단하여 단계(360)를 수행할 수 있다. 또한, 낮 시간이 임계값 이하인 경우, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 낮 시간이 임계값을 초과할 때까지 단계(340)를 반복 수행할 수 있다. 예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 CLM4.5의 방식을 따라 낮 시간의 임계값을 39,300 초로 설정할 수 있다.

[0086] 단계(360)에서 식생의 변화 과정 모의부(110)는 일정 기간 동안 식물의 잎과 줄기를 리터(litter)로 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 생장 계절 종료 직후 30일 동안 수학식 8 내지 수학식 12에 따라 잎과 줄기를 리터(litter)으로 변경할 수 있다.

수학식 8

$$t1 = \begin{cases} 1/dt & \text{for } offset_counter = dt \\ 2/offset_counter^2 & \text{for } offset_counte \neq dt \end{cases}$$

[0087]

수학식 9

$$\begin{aligned} LFMASS_to_litter \\ &= prev_LFMASS_to_litter + t1 \times (LFMASS \\ &\quad - prev_LFMASS_to_litter \times offset_counter) \end{aligned}$$

[0088]

수학식 10

$$\begin{aligned} STMASS_to_litter \\ &= prev_STMASS_to_litter + t1 \times (STMASS \\ &\quad - prev_STMASS_to_litter \times offset_counter) \end{aligned}$$

[0089]

수학식 11

$$DIELF = DIELF + LFMASS_to_litter \times dt$$

[0090]

수학식 12

$$DIEST = DIEST + STMASS_to_litter \times dt$$

[0091]

[0092] 이때, **onset_counter**는 잎과 줄기를 리터(litter)으로 변화시킬 30일 중 남은 기간일 수 있다. 또한, LFMASS는 리터(litter)으로 변화시킬 잎의 질량이고, LFMASS_to_litter는 잎에서 리터(litter)으로 변환되는 탄소 질량이며, prev_LFMASS_to_litter는 이전 시간 격자의 LFMASS_to_litter일 수 있다. 그리고, SFMASS는 리터(litter)으로 변화시킬 줄기의 질량이고, SFMASS_to_litter는 줄기에서 리터(litter)으로 변환되는 탄소 질량이며, prev_SFMASS_to_litter는 이전 시간 단계의 SFMASS_to_litter일 수 있다. 이때, 시간 격자는 식생의 변화 과정 모의부(110)가 식생의 변화 과정을 모의하는 시간 단위일 수 있다. 예를 들어 시간 격자가 3분으로 설정되는 경우, 식생의 변화 과정 모의부(110)는 3분마다 단계(360)를 반복하여 수행할 수 있다.

[0093] 또한, DIELF는 고사되는 잎의 총량이고, DIESF는 고사되는 줄기의 총량일 수 있다.

[0094] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 탄소 합성 모의 과정을 도시한 플로우차트이다. 이때, 도 4의 단계(410) 내지 단계(430)은 도 2의 단계(220)에 포함될 수 있다.

[0095] 단계(410)에서 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물의 질소 프로파일에 따라 식물의 광합성 기관이 가지는 카르

복합화 능력을 결정할 수 있다. 카르복실화는 엽록체 내에서 루비스코(rubisco)의 촉매 작용을 통하여 이산화탄소를 고정하여 카르복실기를 합성하는 과정일 수 있다. 그리고, VCMX25는 25 °C에서의 카르복실화의 최대속도(VCMX)이며, 해당 광합성 기관이 고유하게 가지는 카르복실화 능력을 의미할 수 있다.

[0096] 태양 복사가 식물의 캐노피(canopy)의 상단에 집중 되므로, 식물은 태양 복사를 효과적으로 이용하기 위하여 질소를 캐노피 상단에 많이 할당하며, 캐노피의 상단의 광합성 능력이 캐노피의 하단에 비해 높을 수 있다.

[0097] 따라서, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물의 캐노피에서 높이에 따른 수직적 VCMX25의 변화를 고려하기 위하여 질소의 집중도가 캐노피 꼭대기에서 아래로 갈수록 기하급수적으로 감소하는 것으로 설정할 수 있다.

[0098] 그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물의 잎들을 햇볕이 드는 잎과 그늘진 잎을 분류하여 VCMX25를 계산할 수 있다. 예를 들어, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 13을 이용하여 햇볕이 드는 잎의 캐노피 평균 VCMX25인 VCMX25A_SUN를 계산할 수 있다.

수학식 13

$$VCMX25A_SUN = VCMX25TOP \times \frac{1 - e^{1(EXTN+EXT) \times VAI}}{VAI \times FSUN}$$

[0099]

[0100] 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 14를 이용하여 그늘진 잎의 캐노피 평균 VCMX25인 VCMX25A_SHA를 계산할 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned} VCMX25A_SHA &= VCMX25TOP \\ &\times \frac{\left(1 - e^{-\frac{(EXTN+VAI)}{EXTN}}\right) - \left(1 - e^{-\frac{(EXTN+EXT)VAI}{EXTN+EXT}}\right)}{VAI \times (1 - FSUN)} \end{aligned}$$

[0101]

[0102] 이때, VCMX25TOP는 캐노피 꼭대기에서의 VCMX25이고, EXTN은 누적 잎 면적에 따른 질소 감쇠 계수이며, EXT는 햇볕이 드는 잎의 감쇠계수일 수 있다. 또한, VAI(Vegetation area index)는 잎면적지수(LAI)와 줄기면적지수(SAI)의 합인 식생면적지수이며, FSUN은 식생면적 중 햇볕이 드는 면적의 비율일 수 있다.

[0103] 또한, 식물의 광합성 능력은 계절변화에 따라 변할 수 있다. 구체적으로, 발아 이후 광합성 능력은 점차 향상되어 늦은 봄에 최상이며, 점차 약해져서 잎이 쇠퇴할 시기 또는 휴지기에 이르러서는 급격히 감소한다. 따라서, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 광합성 능력의 변화가 낮 길이 변화에 의존적인 것으로 가정하고 가중치 F_DAYL를 도입하여 VCMX25를 조절할 수 있다.

수학식 15

$$F_DAYL = \frac{DAYL^2}{DAYL_M^2}$$

[0104]

[0105] 여기서, DAYL은 낮의 길이이며, 수학식 16과 같이 계산될 수 있다. 또한, DAYL_M은 하지점에서의 낮의 길이이며, 수학식 17과 같이 계산될 수 있다.

수학식 16

$$DAYL = 2 \times 13750.9871 \times \cos\left(\frac{-\sin(LAT) \times \sin(DECLIN)}{\cos(LAT) \times \cos(DECLIN)}\right)$$

수학식 17

$$DAYL_M = 2 \times 13750.9871 \times \cos\left(\frac{-\sin(LAT) \times \sin(0.409571)}{\cos(LAT) \times \cos(0.409571)}\right)$$

이때, LAT는 위도이고, DECLIN은 태양의 적위(declination)일 수 있다.

즉, 탄소 합성 과정 모의부(120)는, 수학식 13을 이용하여 결정한 VCMX25A_SUN에 가중치 F_DAYL를 적용하여 VCMX25A_SUNE = VCMX25A_SUN*F_DAY와 같이 보정할 수 있다. 이때, VCMX25A_SUNE는 가중치를 적용하여 보정된 햇별이 드는 잎의 캐노피 평균 VCMX25일 수 있다.

또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는, 수학식 14를 이용하여 결정한 VCMX25A_SHA에 가중치 F_DAYL를 적용하여 VCMX25A_SHAE = VCMX25A_SHA*F_DAY와 같이 보정할 수 있다. 이때, VCMX25A_SHAE는 가중치를 적용하여 보정된 그늘진 잎의 캐노피 평균 VCMX25일 수 있다.

단계(420)에서 탄소 합성 과정 모의부(120)는 단계(410)에서 결정한 카르복실화 능력을 기초로 식물의 잎의 엽록체의 구조에 따라 제한되는 전자 수송 속도(electron transport rate)를 결정할 수 있다.

예를 들어, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 18을 사용하여 전자수송속도인 J를 계산할 수 있다.

수학식 18

$$\theta_{PSII} J^2 - (QABS + JMX) J + QABS \times JMX = 0$$

이때, 수학식 18의 두 근 중 작은 값이 J 이다. 또한, θ_{PSII} 은 경험적 곡률 파라미터이고, $QABS$ 은 광시스템에 흡수된 광량일 수 있다. 그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 광시스템에 입사된 광자의 이용효율을 고려하여 $QABS = 0.5 \times (1 - 0.15) \times PPF$ 로 결정할 수 있다.

또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 19를 사용하여 전자수송속도인 J의 최대치인 JMX를 계산할 수 있다.

수학식 19

$$JMX = JMX25 \times F1(TC)/F2(TC) \times BTRAN$$

이때, F1은 온도에 따른 반응속도의 함수이고, F2는 온도에 의한 반응 저해 함수일 수 있다. 또한, TC는 잎의 온도이고, BTRAN은 토양의 발산(transpiration)지수이며 0에서 1사이의 값을 가질 수 있다. 즉, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 광합성 기관의 고유값인 JMX25에 온도 및 수분에 의한 영향을 고려하여 전자 수송 속도의 상한을 결정할 수 있다.

그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 JMX의 Q10(temperature coefficient)인 AJMX를 수학식 20에 입력하여

F1을 계산할 수 있다.

수학식 20

$$F1(TC) = AJMX^{(TC-25)/10}$$

[0119]

[0120] 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 21을 이용하여 F2를 계산할 수 있다.

수학식 21

$$F2(TC) = 1 + \exp\left(\frac{-2.2 \times 10^5 + 710 \times (TC + 273.16)}{8.314 \times (TC + 273.16)}\right)$$

[0121]

[0122] 그리고, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 22와 같은 JMX25와 VCMX25 간의 선형적 관계식을 이용하여 VCMX25로부터 JMX25를 결정할 수 있다.

수학식 22

$$JMX25 = 1.97 \times VCMX25$$

[0123]

[0124] 이때, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 13, 및 수학식 14와 동일한 방식으로 이들 각각의 평균적인 JMX25인 JMX25A를 결정할 수 있다. 이때, JMX25TOP는 $JMX25TOP = 1.97 \times VCMX25TOP$ 에 따라 결정될 수 있다.

[0125] 단계(430)에서 탄소 합성 과정 모의부(120)는 전자 수송 속도를 고려하여 식물의 잠재적 광합성량을 계산할 수 있다. 구체적으로, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 식물이 흡수한 광량에 따른 제약, 카르복실화 효소(rubisco)에 따른 제약 및 광합성 산물(탄소) 수송 속도에 따른 제약을 고려하여 각각의 잠재적 광합성량을 계산할 수 있다. 예를 들어, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 23을 사용하여 광합성량(PSN, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)을 계산할 수 있다.

수학식 23

$$PSN = \min(WJ, WC, WE)$$

[0126]

[0127] 이때, WJ는 식물이 흡수한 광량이고, WC는 식물의 카르복실화 효소이며, WE는 광합성 산물(탄소)의 수송 속도일 수 있다.

[0128] 또한, 탄소 합성 과정 모의부(120)는 수학식 24를 사용하여 WJ를 계산할 수 있다.

수학식 24

$$WJ = \frac{CI - CP}{4(CI + 2CP)} \times J$$

[0129]

[0130] 이때, 수학식 24의 J는 수학식 18을 사용하여 계산된 전자수송속도일 수 있다. 또한, CI 는 엽록체 내부 CO_2 농도이고, CP 는 CO_2 의 보상점일 수 있다. 또한, K_c 와 K_o 는 각각 CO_2 와 O_2 의 미하엘리스-멘텐(Michaelis-Menten) 상수이며, O_2 는 대기 중 산소 농도(pa)일 수 있다. 그리고, PPF는 앞에 흡수된 광합성이 가능한 광자속(absorbed photosynthetic photon flux) ($\mu mol photons m^{-2} s^{-1}$)일 수 있다.

[0131] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 기후·환경 통합 예측 방법의 탄소 분배 모의 과정을 도시한 플로우차트이다. 이때, 도 5의 단계(510) 내지 단계(550)은 도 2의 단계(230)에 포함될 수 있다.

[0132] 단계(510)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 시간 격자의 총 광합성량(GPP)과 식물의 유지 호흡에 필요한 탄소의량을 이용하여 GMM(GPP minus maintenance respiration)를 결정할 수 있다.

[0133] GPP에서 유지호흡을 제한 결과인 GMM은 GPP에서 유지호흡과 생장호흡을 제한 결과인 NPP과 다른 정보이나, 모든 요소에서 생장호흡량이 생장량의 10%로 동일하게 가정되므로 NPP 대신에 GMM을 사용할 수도 있다

[0134] 단계(520)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식물의 NPP가 상기 식물의 요소로 할당되는 비율 및 식물의 연간 GMM을 이용하여 식물의 요소별 탄소 할당을 결정할 수 있다.

[0135] 구체적으로, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 해당 식생의 평균 NPP를 이용하여 LAI의 최대값인 LAIMAX를 계산할 수 있다. 그리고, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 LAIMAX와 각 시간 격자의 LAI 값의 비율을 이용하여 매 시간 격자에서 각 요소에 할당되는 식물의 요소별 탄소 할당을 결정할 수 있다.

[0136] 예를 들어, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 수학식 25를 이용하여 LAIMAX를 계산할 수 있다.

수학식 25

$$LAIMX = NPP_{10yr} \times ratio_{leaf} \times LAPM/LTOVR$$

[0137]

[0138] 이때, NPP_{10yr} 은 10년 평균 연간 NPP이고, $ratio_{leaf}$ 은 관측에서 주어진 연평균 잎으로 할당되는 탄소비율일 수 있다. 예를 들어, $ratio_{leaf}$ 은 0.2일 수 있다.

[0139] 또한, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 LAIMAX가 비현실적인 크기로 모의되는 것을 방지하기 위해 수학식 26을 사용하여 LAIMX의 최대치를 제한할 수 있다.

수학식 26

$$LAIMX = LAIMX - LAIMX^{3.0} \times 4 \times 10^{-3}$$

[0140]

[0141] 그리고, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 늦은 봄에 생리적 최상기를 맞이하고 그 후로 점진적으로 쇠퇴하는 잎의 생리주기를 표현하기 위해 수학식 27을 사용할 수 있다.

수학식 27

$$LAIMX = LAIMX \times \left(1 - (julian - 180) \times \frac{0.5}{180} \right), \text{for } julian > 180$$

[0142]

[0143]

이때, julian은 연도일(day of year)일 수 있다.

[0144]

마지막으로 탄소 분배 과정 모의부(130)는 수학식 28 내지 수학식 30을 사용하여 매 시간 격자에서 계산되는 잎, 줄기, 뿌리에 할당되는 탄소의 비율을 결정할 수 있다.

수학식 28

$$LEAFPT = \text{EXP}(0.01 \times (1 - \text{EXP}(6.2 \times x_{lai}/LAIMX)))$$

[0145]

수학식 29

$$ROOTPT = \text{EXP}(0.01 \times (1 - \text{EXP}(5.7 \times RTMASS / (NPP_{10yr} \times \text{ratio}_{root})))) \times (1 - LEAFPT)$$

[0146]

수학식 30

$$WOODPT = 1 - LEAFPT - STEMP - ROOTPT$$

[0147]

[0148]

이때, LEAFPT, ROOTPT, WOODPT는 각각 잎, 뿌리, 줄기에 할당되는 탄소의 비율이며, ratio_{root} 은 뿌리로 할당되는 연평균 탄소 비율일 수 있다. 예를 들어, ratio_{root} 은 0.5일 수 있다.

[0149]

단계(530)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 식물이 광합성을 하지 않은 기간인지 여부를 확인할 수 있다. 예측 시점이 식물이 광합성하는 기간인 경우, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 단계(550)를 수행할 수 있다. 또한, 예측 시점이 식물이 광합성하지 않는 기간인 경우, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 단계(540)를 수행할 수 있다.

[0150]

단계(540)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 탄소 저장소로부터 광합성하지 않는 기간 동안 식물의 유지에 필요한 탄소를 공급할 수 있다. 식물은 광합성을 하지 않은 밤시간과 휴지기 동안에도 호흡을 하며 체내에 저장된 탄소를 소비한다. 탄소 분배 과정 모의부(130)는 광합성하지 않는 기간에 소비되는 탄소를 고려하기 위하여 음수의 탄소 저장소(storage_{RS})를 만들어 호흡에 탄소가 부족할 시 이 저장소에서 탄소를 공급하고, 광합성 시에 사용한 탄소를 반환하도록 설정할 수 있다.

[0151]

구체적으로, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 수학식 31을 이용하여 광합성하지 않는 기간 동안 식물의 유지 호흡에 부족한 탄소의 양($\text{in_excess_of_CARBFX}$)을 계산할 수 있다.

수학식 31

$$in_excess_of_CARBFX = \text{MAX}(0, RS_{LEAF} + RS_{ROOT} + RS_{WOOD})$$

[0152]

[0153] 이때, RS_{LEAF} , RS_{ROOT} , RS_{WOOD} 은 각각 잎, 뿌리, 줄기의 유지호흡량이다.

[0154] 그리고, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 탄소 저장소에서 $in_excess_of_CARBFX$ 의 값을 차감하여 식물의 호흡에 이용되도록 할 수 있다.

[0155] 단계(550)에서 탄소 분배 과정 모의부(130)는 탄소 저장소로부터 광합성하는 기간 동안 생성된 탄소중 일부를 탄소 저장소에 저장할 수 있다. 이때, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 단계(540)에서 탄소 저장소가 공급한 탄소를 탄소 저장소에 복구시킬 수 있다.

[0156] 예를 들어, 탄소 분배 과정 모의부(130)는 단계(540)에서 탄소 저장소가 공급한 탄소를 30일에 걸쳐 복구시키는 경우, 수학식 32 내지 수학식 33을 이용하여 복구할 탄소량인 $xfer_to_storage_RS$ 를 계산할 수 있다.

수학식 32

$$pot_xfer_to_storage_RS = -1 \times storage_RS / 86400 / 30$$

[0157]

[0158] 이때, $pot_xfer_to_storage_RS$ 은 식물의 광합성량이 식물의 유지 호흡에 사용되고도 남아서 탄소 저장소에 복구할 수 있을 정도이고, 수북이 가장 우선 순위에 있을 경우에 수복되는 탄소량이다.

수학식 33

$$remain_in_CARBFX = \text{MAX}(0, CARBFX - RS_{LEAF} - RS_{ROOT} - RS_{WOOD})$$

[0159]

[0160] 이때, $remain_in_CARBFX$ 은 유지호흡을 제하고 남은 광합성량이다.

수학식 34

$$\begin{aligned} xfer_to_storage_RS \\ = \text{MIN}(remain_in_CARBFX \\ \times (1 - LEAFPT - ROOTPT), pot_xfer_to_storage_RS) \end{aligned}$$

[0161]

[0162] 이때, $xfer_to_storage_RS$ 은 탄소 저장소에 복구할 탄소의 양이며, $xfer_to_storage_RS$ 는 수학식 32로 계산된 $pot_xfer_to_storage_RS$ 및 수학식 33으로 계산된 $remain_in_CARBFX$ 이하일 수 있다.

[0163] 본 발명은 탄소의 합성 과정 및 탄소의 분배 과정과 함께 계절 현상에 따른 식생의 변화 또는 SAI를 고려하여 기후·환경에 최적화된 기후 모형을 결정함으로써, 기후, 또는 환경의 변화를 미리 예측할 수 있다.

[0164] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록

매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 시스템이 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 시스템은 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0165] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

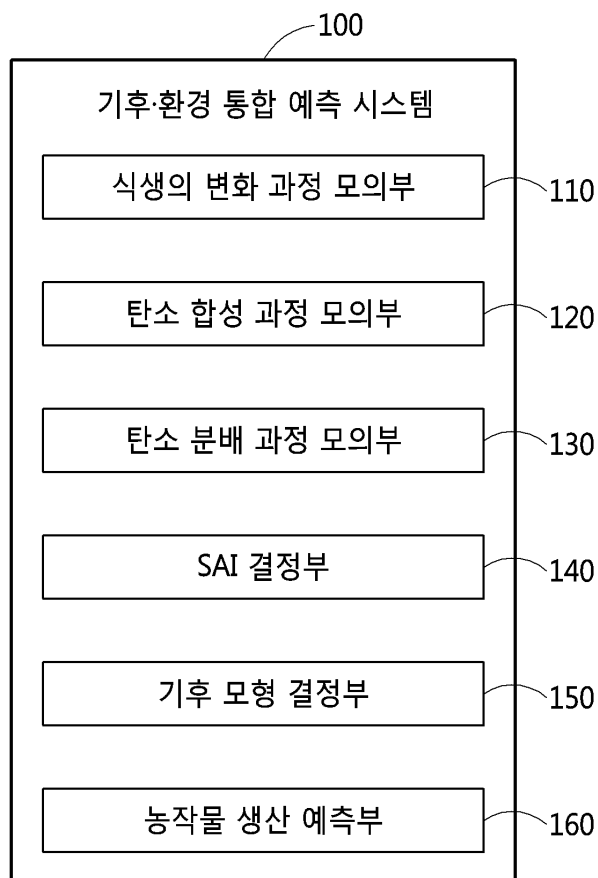
[0166] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

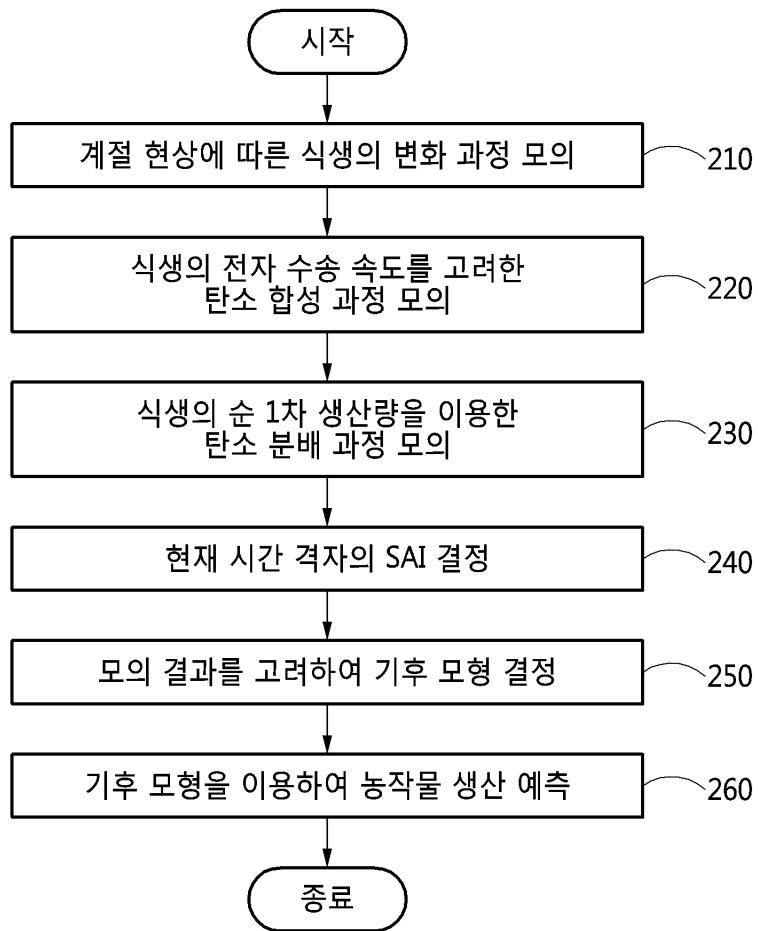
- [0167]
- 110: 식생의 변화 과정 모의부
 - 120: 탄소의 합성 과정 모의부
 - 130: 탄소의 분배 과정 모의부
 - 140: SAI 결정부

도면

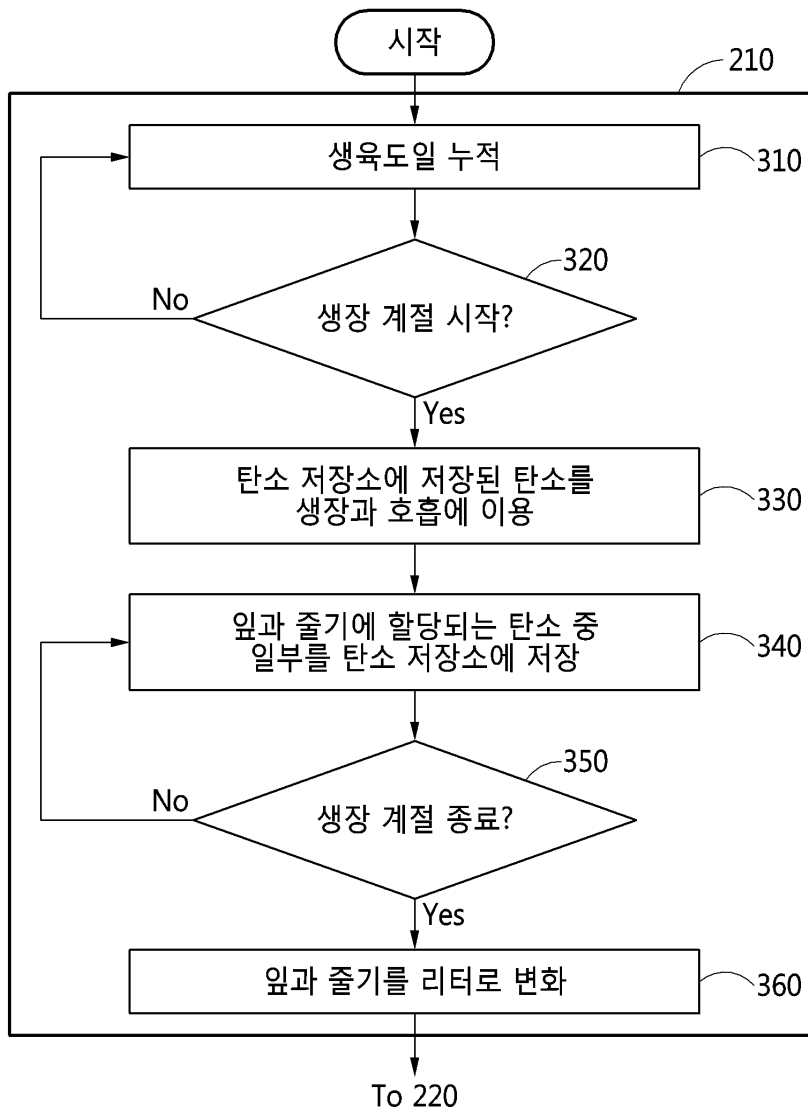
도면1



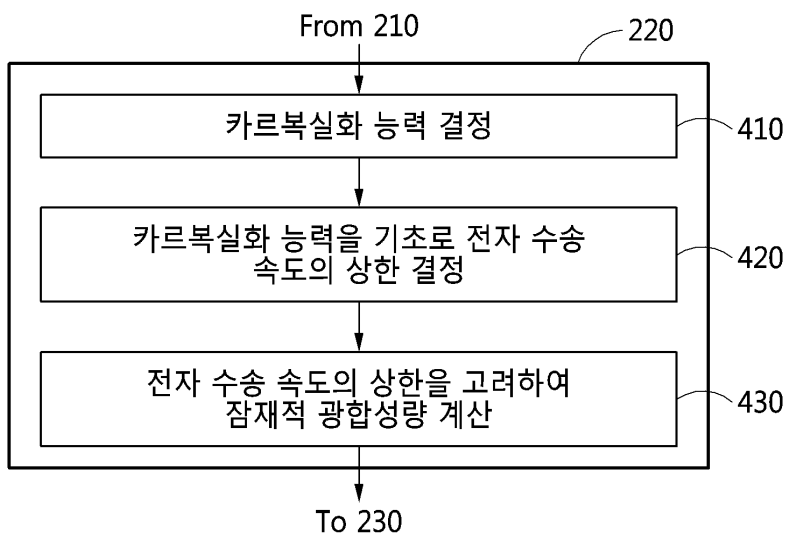
도면2



도면3



도면4



도면5

