



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년06월24일
(11) 등록번호 10-1410770
(24) 등록일자 2014년06월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2013-0035823

(22) 출원일자 2013년04월02일

심사청구일자 2013년04월02일

(56) 선행기술조사문헌

Arora, V., "Modeling vegetation as a dynamic component in soil-vegetation-atmosphere transfer schemes and hydrological models", Rev. Geophys., 40, 2002, p.1006

(73) 특허권자

한국해양과학기술원

경기도 안산시 상록구 해안로 787 (사동, 한국해양연구원)

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

(72) 발명자

최용상

서울 마포구 마포대로11길 50, 412동 301호 (공덕동, 삼성래미안공덕4차아파트)

홍승범

경기 의정부시 장곡로596번길 18, 104동 804호 (신곡동, 드림밸리아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 14 항

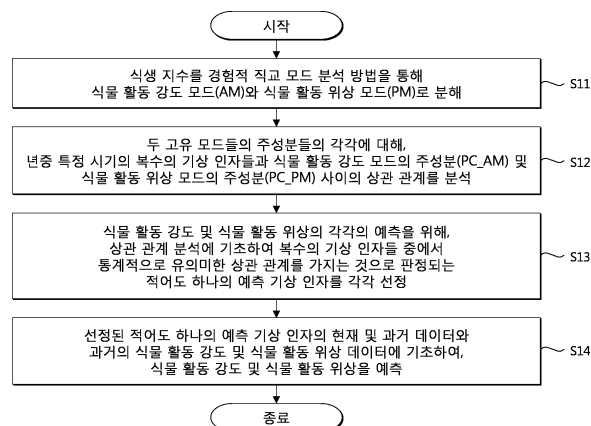
심사관 : 김세영

(54) 발명의 명칭 식생 변동을 조절하는 예측 기상 인자들을 이용한 연간 식생 변동 예측 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명에 따른 연간 식생 변동 예측 방법은 관심 대상 지역의 과거의 식생 지수를 경험적 직교 함수 분석 방법을 통해 분해한 식물 활동 강도 모드(AM)와 식물 활동 위상 모드(PM)의 주성분들과 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 각각 분석하는 단계, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 각각의 예측을 위해, 상관 관계 분석에 기초하여 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미한 상관 관계를 가지는 것으로 판정되는 적어도 하나의 예측 기상 인자를 각각 선정하는 단계 및 선정된 적어도 하나의 예측 기상 인자의 현재 및 과거 데이터와 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상에 관한 과거의 데이터에 기초하여, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상을 각각 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

명복순

경기 의왕시 덕장로 76, 403동 402호 (청계동, 휴먼시아청계마을)

박선기

서울 송파구 올림픽로 135, 218동 601호 (잠실동, 리센츠아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 CATER-2012-3064

부처명 기상청

연구사업명 기후 변화 감시 예측 및 국가정책 지원 강화사업

연구과제명 통계기법을 활용한 해빙면적 계절예측 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 이화여자대학교

연구기간 2012.03.08 ~ 2015.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

관심 대상 지역의 과거의 식생 지수를 경험적 식교 함수 분석 방법을 통해 분해한 식물 활동 강도 모드(AM)와 식물 활동 위상 모드(PM)의 주성분들과 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 각각 분석하는 단계;

식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 각각의 예측을 위해, 상관 관계 분석에 기초하여 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미한 상관 관계를 가지는 것으로 판정되는 적어도 하나의 예측 기상 인자를 각각 선정하는 단계; 및

상기 선정된 적어도 하나의 예측 기상 인자의 현재 및 과거 데이터와 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상에 관한 과거의 데이터에 기초하여, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상을 각각 예측하는 단계를 포함하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 식생 지수는 엽면적 지수(LAI) 또는 정규 식생 지수(NDVI) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들은 년중 일부 구간에 한정되어 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계 분석에 제공되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 복수의 기상 인자들은 연속하는 2 달 이상의 구간 동안 평균화된 값으로써 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 사이의 상관 관계 분석에 제공되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 복수의 기상 인자들은 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP) 및 대기 부족 수증기압(VPD)을 포함하는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 예측은 사례 기반 예측 알고리즘 또는 선형 회귀 분석 알고리즘 중 적어도 어느 한 알고리즘에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 방법.

청구항 7

컴퓨터에서 청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 청구항의 연간 식생 변동 예측 방법을 수행하기 위한 프로그램이 수록된 컴퓨터로 독출할 수 있는 기록 매체.

청구항 8

관심 대상의 식생 지역에 관하여 소정의 식생 지수의 과거 데이터를 제공하는 식생 지수 데이터 저장부;

관심 대상의 식생 지역에 관하여 복수의 기상 인자들의 과거 데이터를 제공하는 기상 인자 데이터 저장부;

경험적 식교 함수 분석 방법을 통해 상기 식생 지수를 식물 활동 강도 모드(AM) 및 식물 활동 위상 모드(PM)로 분해하고, 상기 식물 활동 강도 모드 및 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 상기 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 분석하며, 상기 분석 결과에 따라 상기 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미하다고 판정된 형태의 기상 인자들을 예측 기상 인자로 선정하는 예측 기상 인자 선정부;

식물 활동 강도 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지

수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 강도를 예측하는 식물 활동 강도 예측부; 및

식물 활동 위상 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 위상을 예측하는 식물 활동 위상 예측부를 포함하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 식생 지수는 엽면적 지수(LAI) 또는 정규 식생 지수(NDVI) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 10

청구항 8에 있어서, 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들은 년중 일부 구간에 한정되어 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계 분석에 제공되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 11

청구항 8에 있어서, 상기 복수의 기상 인자들은 연속하는 2 달 이상의 구간 동안 평균화된 값으로써 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 사이의 상관 관계 분석에 제공되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 12

청구항 8에 있어서, 상기 복수의 기상 인자들은 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP) 및 대기 부족 수증기압(VPD)을 포함하는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 13

청구항 8에 있어서, 상기 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 예측은 사례 기반 예측 알고리즘 또는 선형 회귀 분석 알고리즘 중 적어도 어느 한 알고리즘에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 연간 식생 변동 예측 장치.

청구항 14

컴퓨터를 청구항 8 내지 청구항 13 중 어느 한 청구항에 따른 연간 식생 변동 예측 장치로 구동하기 위한 프로그램이 수록된 컴퓨터로 독출할 수 있는 기록 매체.

명 세 서

기술 분야

[0001] 본 발명은 생물 계절학(phenology)에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 식생 변동 예측 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 생물 계절학적 변동을 분석하는 것은 아직까지 충분한 이론적 열개가 없기 때문에 동적 식생 모델링 시에 가장 까다로운 문제 중 하나이다. 종래의 연구들은 식물 계절학적 이벤트, 예를 들어 개화라든가 생장기의 시작과 같은 이벤트들의 타이밍 또는 기상 인자들에 집중되어 있었고, 식생 단계들 사이의 상호 영향을 주는 변동들에는 관심이 적었다.

[0003] 육상 생물권은 지표면에서 에너지, 수자원 및 탄소 흐름에 영향을 주고 다시 지역 식생의 생물 계절학적 현상들, 분포 및 종류에 영향을 주는 식으로 대기, 지표 및 기후에 영향을 미친다. 따라서 생태계와 탄소 사이클 뿐아니라 생태계에 의한 피드백에 따른 기후 시스템의 조정을 검증하고 예측하는 것은 식생의 변동 뒤에 숨은 메커니즘을 이해하는 데에 매우 중요하다.

[0004] 지상에서 이루어지는 식생 조사를 이용한 연구와 예측은 유용성이 제한적이었는데, 이러한 문제점을 극복하기 위해 위성 기반의 식생 지수들, 예를 들어 엽면적(또는 잎면적) 지수(LAI, leaf area index), 정규화 식생 지수(NDVI, normalized difference vegetation index) 등이 개발되었고 대규모 지상 생태계의 특성과 역학을 이해하는 데에 도움이 되었다.

[0005] 엽면적 지수 또는 잎면적 지수는 식물의 광합성 효율을 나타내는 지표로서, 단위면적의 토지당 총 잎 면적으로 정의된다. 통상적으로 중위도 온대 지역에서 봄 ~ 가을에 엽면적 지수는 식생에 따라 2에서 5 정도의 값을 보인다.

[0006] 하지만 경년(inter-annual) 또는 연간(intra-annual) 생물 계절학적 역학의 관점에서, 식생의 변동은 식물 자체의 성장 메카니즘이나 기상, 환경 등 다양한 요소에 영향을 받고, 연속하는 식생 단계들이 서로 상호 작용할 뿐 아니라, 자연 식생 지역인지 경작 지역인지에 따라서도 달라지기 때문에, 현재의 육상 식물 생태계 모델의 예측 성능은 만족스럽지 않은 상태이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 식생 변동을 조절하는 예측 기상 인자들을 이용한 연간 식생 변동 예측 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 측면에 따른 연간 식생 변동 예측 방법은,
- [0009] 관심 대상 지역의 과거의 식생 지수를 경험적 직교 함수 분석 방법을 통해 분해한 식물 활동 강도 모드(AM)와 식물 활동 위상 모드(PM)의 주성분들과 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 각각 분석하는 단계;
- [0010] 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 각각의 예측을 위해, 상관 관계 분석에 기초하여 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미한 상관 관계를 가지는 것으로 판정되는 적어도 하나의 예측 기상 인자를 각각 선정하는 단계; 및
- [0011] 상기 선정된 적어도 하나의 예측 기상 인자의 현재 및 과거 데이터와 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상에 관한 과거의 데이터에 기초하여, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상을 각각 예측하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 따라, 상기 식생 지수는 엽면적 지수(LAI) 또는 정규 식생 지수(NDVI) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 따라, 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들은 년중 일부 구간에 한정되어 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계 분석에 제공될 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 따라, 상기 복수의 기상 인자들은 연속하는 2 달 이상의 구간 동안 평균화된 값으로써 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 사이의 상관 관계 분석에 제공될 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 따라, 상기 복수의 기상 인자들은 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP) 및 대기 부족 수증기압(VPD)을 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 따라, 상기 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 예측은 사례 기반 예측 알고리즘 또는 선형 회귀 분석 알고리즘 중 적어도 어느 한 알고리즘에 의해 수행될 수 있다.
- [0017] 본 발명의 다른 측면에 따른 연간 식생 변동 예측 장치는,
- [0018] 관심 대상의 식생 지역에 관하여 소정의 식생 지수의 과거 데이터를 제공하는 식생 지수 데이터 저장부;
- [0019] 관심 대상의 식생 지역에 관하여 복수의 기상 인자들의 과거 데이터를 제공하는 기상 인자 데이터 저장부;
- [0020] 경험적 직교 함수 분석 방법을 통해 상기 식생 지수를 식물 활동 강도 모드(AM) 및 식물 활동 위상 모드(PM)로 분해하고, 상기 식물 활동 강도 모드 및 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 상기 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 분석하며, 상기 분석 결과에 따라 상기 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미하다고 판정된 형태의 기상 인자들을 예측 기상 인자로 선정하는 예측 기상 인자 선정부;
- [0021] 식물 활동 강도 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 강도를 예측하는 식물 활동 강도 예측부; 및
- [0022] 식물 활동 위상 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 위상을 예측하는 식물 활동 위상 예측부를 포함할 수 있다.

- [0023] 일 실시예에 따라, 상기 식생 지수는 엽면적 지수(LAI) 또는 정규 식생 지수(NDVI) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따라, 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들은 년중 일부 구간에 한정되어 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계 분석에 제공될 수 있다.
- [0025] 일 실시예에 따라, 상기 복수의 기상 인자들은 연속하는 2 달 이상의 구간 동안 평균화된 값으로써 상기 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 사이의 상관 관계 분석에 제공될 수 있다.
- [0026] 일 실시예에 따라, 상기 복수의 기상 인자들은 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP) 및 대기 부족 수증기압(VPD)을 포함할 수 있다.
- [0027] 일 실시예에 따라, 상기 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 예측은 사례 기반 예측 알고리즘 또는 선형 회귀 분석 알고리즘 중 적어도 어느 한 알고리즘에 의해 수행될 수 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명의 식생 변동을 조절하는 예측 기상 인자들을 이용한 연간 식생 변동 예측 방법 및 장치에 따르면, 경험적 직교 함수(EOF) 기법을 이용하여 엽면적 지수에 기여하는 두 개의 주성분, 즉 식물 활동 강도와 식물 활동 위상을 추출하고, 두 주성분과 가장 크게 상관하는 예측 기상 인자들을 선정할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 식생 변동을 조절하는 예측 기상 인자들을 이용한 연간 식생 변동 예측 방법 및 장치에 따르면, 선정된 예측 기상 인자들의 값을 가지고 식생 변동을 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법을 예시한 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법에서 엽면적 지수의 년간 일별 분포의 변동을 예시한 그래프이다.
- 도 3과 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법에서 경험적 직교 함수 기법을 통해 선택된 두 개의 주성분들에 대한 예측 기상 인자들의 상관 관계를 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드에 따라 각각 예시한 그래프들이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 장치를 예시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.
- [0032] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법을 예시한 순서도이다.
- [0034] 식생에 관련된 인자들의 수나 특성, 상호 관계는 너무나 복잡하여 이들로써 식생 변동을 설명할 수 있는 이론적 체계를 구축하는 작업은 사실상 불가능하기 때문에 식생 변동을 실질적으로 표현할 수 있는 경험적 변수들을 찾고, 경험적 변수들을 이용하여 식생 변동을 예측하는 것이 유리하다. 이러한 접근 방식을 경험적 직교 함수(EOF, empirical orthogonal function) 분석이라고 한다.
- [0035] 경험적 직교 함수 분석은 어떤 원본 자료를 수리적으로 표현할 수 있는 k 개의 변수들을, 원래의 변수들이 가지는 대부분의 정보를 유지하면서 동시에 서로 상관성이 없거나 낮은, 원래 변수의 수 k보다 적은 p 개의 새로운 경험적 변수들으로써 선형 변환하는 통계학적 기법이다.
- [0036] 원본 자료를 표현할 수 있는 변수가 어떤 물리적 의미를 가지는지 설명할 수는 없어도, 최소한의 고유 모드들으로써, 관측치를 적어도 재현 또는 예측할 수 있기 때문에, 이렇게 도출된 고유 모드들을 경험적 직교 함수라고 한다.
- [0037] 어떤 데이터에 관하여, 평균과의 차이를 편차(anomaly)라고 하는데, 편차는 해당 데이터셋이 가지는 유용한 정

보라고 할 수 있다. 만약 어떤 고유 모드가 원본에 있던 이러한 편차의 양을 대부분 재현할 수 있다면, 그 고유 모드로써 원본을 표현할 수 있다. 다만, 편차가 어떤 장기간의 추세에 영향을 받는 부분을 제거할 수 있도록, 경험적 직교 함수 분석은 비추세적 편차(detrended anomaly)에 기반하는 것이 바람직하다.

- [0038] 특히 원본 자료가 공간적 변동성과 시간적 변동성을 동시에 가지기 때문에 근본적인 해석이 어려울 경우에, 경험적 직교 함수 분석이 적합하다.
- [0039] 경험적 직교 함수 분석에서, 고유 모드, 고유 함수, 모드, 함수, 변수, 주성분(Principle Component) 등의 용어는 모두 실질적으로 동일한 의미를 가지는 용어들이고, 맥락에 따라 명백히 독자적으로 해석되는 경우를 제외하면, 본 발명의 명세서에서는 서로 혼용될 수 있다.
- [0040] 본 발명의 경우에, 북반구의 중위도 지대의 연간 식생 변동은 계절의 변화에 맞물려 휴면, 성장, 감쇠를 반복하는데다, 기후적, 지리적 특성과 관개 등 인간의 개입에도 영향을 받기 때문에 본질적으로 접근하여서는 해석하기 어렵다. 따라서 경험적 직교 함수 분석을 통해, 수십 년간에 걸친 북반구 지표의 식생 데이터인 엽면적 지수(LAI)를 설명할 수 있는 주요한 독립적 고유 모드들을 도출하고, 도출된 모드들을 통제하는 예측 기상 인자들을 선정함으로써, 예측 기상 인자들로부터 연간 식생 변동을 예측하는 접근 방안을 모색한다.
- [0041] 이를 위해, 도 1을 참조하면, 단계(S11)에서는, 예를 들어 엽면적 지수 데이터와 같은 식생 지수를 경험적 직교 모드 분석 방법을 통해 식물 활동 강도 모드(AM)와 식물 활동 위상 모드(PM)로 분해한다.
- [0042] 본 발명을 구현하기 위해 발명자가 사용한 엽면적 지수(LAI) 데이터셋은 미국 항공우주국의 글로벌 인벤토리 모니터링 앤드 모델링 시스템 그룹(Global Inventory Monitoring and Modeling Systems group)에서 생산하는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서 관측 데이터에 기반하며, 북반구 중위도 지대의 1982년부터 2006년까지 25년간의 월간 LAI 데이터가 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 의 공간 해상도를 가지고 제공된다.
- [0043] 실시예에 따라, 엽면적 지수(LAI) 대신에 정규 식생 지수(NDVI)가 식생 지수로 사용될 수 있다.
- [0044] 25년 기간의 엽면적 지수 데이터를 기초로 경험적 직교 함수 분석을 수행하면, 25 개의 EOF 모드들 및 그에 따른 25 개의 주성분(Principle Components)이 도출된다. 각각의 주성분들에 대한 다양한 예측 기상 인자들의 상관 관계를 분석하려면, 주성분의 수를 크게 줄여야 한다. 특히 2차원 시간적 변수에 적용하는 기존의 일반적인 직교 함수 분석과는 달리 월별 변화에 초점을 맞추기 위해 1차원(point data) 시간적 변수에 직교 함수 분석을 적용한다.
- [0045] 한편, 엽면적 지수는 내재적인 경년변 또는 연간 변동성을 가지는데, 이는 도 2에 예시되어 있다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법에서 엽면적 지수의 연간 일별 분포의 변동을 예시한 그래프이다.
- [0046] 도 2를 잠시 참조하면, 굵은 실선으로 표시된 그래프는 AVHRR의 25년 간의 엽면적 지수 데이터셋을 기초로 매해 월별로 엽면적 지수들을 평균한 그래프이다.
- [0047] 엽면적 지수 또는 엽면적 지수는 식물의 광합성 효율을 나타내는 지표로서, 단위면적의 토지당 총 잎 면적으로 정의된다. 통상적으로 중위도 온대 지역에서 엽면적 지수는 식생에 따라 봄 ~ 가을에 2에서 5 정도의 값을 보이고 겨울에는 0을 가지므로, 가로축이 월(month)이고 세로축이 엽면적 지수의 크기인 2차원 좌표에 표시한다면, 종 모양(bell-shaped) 그래프를 나타낸다.
- [0048] 도 2에서, 매해의 엽면적 지수 그래프는 그 해에 얼마나 어떤 식으로 식생이 활발하였는지를 도식적으로 보여주는데, 계절에 따라 평균보다 높을 수도 있고 낮을 수도 있다. 평균과의 차이인 편차는 특히 식생이 활발한 시기, 즉 봄부터 가을까지에 유의미한 값을 가지므로, 이러한 시기의 편차를 설명할 수 있는 고유 모드들을 도출하여야 한다.
- [0049] 좀더 통찰적으로 관찰해보면, 엽면적 지수 그래프는 어떤 해에는 평균보다 전반적으로 높지만 다른 해에는 평균 그래프보다 전반적으로 낮다. 또한, 어떤 해에는 엽면적 지수 그래프가 평균 그래프보다 먼저 최고조에 이르면, 또 다른 해에는 평균 그래프보다 늦게 최고조에 이른다.
- [0050] 이러한 관찰의 결과에 따라, 본 발명의 발명자는 엽면적 지수를 설명하기 위한 두 개의 고유모드로서 엽면적 지수의 편차의 크기(Amplitude), 즉 식물 활동 강도 모드(AM) 및 엽면적 지수의 편차의 위상(Phase), 즉 식물 활동 위상 모드(PM)를 도출하게 되었다.
- [0051] 식물 활동 강도 모드(AM, amplitude mode)는 봄 ~ 가을의 식생 활성기에 평균을 기준으로 하는 식생 활동의 강

약을 의미하며, 도 2에서 가는 실선으로 표시되는 그래프들의 크기 차이에 상응한다. 어떤 해에, 식물 활동 강도 모드가 가장 큰 달은 그 해에 엽면적 지수가 최고조인 달과 일치하며, 대체로 엽면적 지수 평균이 가장 큰 달과 일치한다.

- [0052] 예를 들어, 식물 활동 강도 모드의 크기는 식생 활성기 초기에는 거의 무시할 수 있을 정도로 작다가, 대체로 초여름부터 갑자기 증가하고 늦여름이 되면 감소하다가 가을에 접어들면 다시 거의 무시할만큼 작아진다. 식생 활성기 중에서도 초여름부터 초가을까지의 시기 중에 집중 활성기가 있다고 할 수 있다.
- [0053] 식물 활동 강도 모드의 크기는 평균과의 편차에 관한 것인데, 3월이나 4월의 봄 시기 동안 식물 활동 강도 모드의 크기는 대체로 매우 작아, 5월 내지 7월에 어떻게 될지 예측하기 어렵다. 따라서, 매년 초기의 엽면적 지수는 집중 활성기의 엽면적 지수와 상관관계가 적다고 할 수 있고, 어느 해의 초여름에 집중 활성기가 정확히 언제 시작하고 어느 정도로 활발할지는 그해 이른 봄의 엽면적 지수만 보아서는 알 수 없다. 이는 식물 활동 강도 모드가 식물 활동 위상 모드와 서로 독립적인 경험적 변수임을 의미한다.
- [0054] 식물 활동 위상 모드(PM)는 매달 평균에 비해 식물 활동이 얼마나 빠르거나 늦은지를 의미하며 도 2에서 점선으로 표시되는 그래프들의 위치 천이에 상응한다.
- [0055] 예를 들어, 어느 해에 식생 활성기가 평균보다 일찍 시작하여 일찍 끝날 경우에, 식물 활동 위상 모드(PM)는 그 해의 전반기에는 양의 값을 가지고 그 해의 후반기에는 음의 값을 가질 수 있다.
- [0056] 다시 도 1로 돌아와서, 단계(S12)에서, 두 고유 모드들의 주성분들의 각각에 대해, 년중 특정 시기의 복수의 기상 인자들과 식물 활동 강도 모드의 주성분(PC_AM) 및 식물 활동 위상 모드의 주성분(PC_PM) 사이의 상관 관계를 분석한다.
- [0057] 실시예에 따라, 각 고유 모드의 주성분들은 년중 일부 구간, 예를 들어 집중 활성기에 한정하여 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계가 분석될 수 있다.
- [0058] 실시예에 따라, 복수의 기상 인자들은 연속하는 2 달 이상의 구간 동안 평균화된 값으로써 각 고유 모드들의 주성분과 사이의 상관 관계가 분석될 수 있다.
- [0059] 어느 한 해에 걸쳐 다양한 기상 인자들이 식물 활동의 강도(AM)나 위상(PM)에 영향을 줄 수 있지만, 실제로 기상 인자들 중에 식물 활동 강도나 위상에 통계적으로 유의미한 높은 상관 관계를 가지는 기상 인자는 찾기 어렵다. 예를 들어, 연중 강수량이나 지표면 온도로 식물 활동 강도나 위상이 결정적으로 산출되지 않는다. 강수량이 많은 어느 해에는 식물 활동이 강했더라도 또 다른 해에는 약할 수 있다.
- [0060] 그러나 본 발명의 발명자는 집중 활성기가 오기 전 또는 초기에 중장기적인 대기 상태가 그해 집중 활성기의 엽면적 지수에 지배적인 영향을 줄 것으로 예상하고, 집중 활성기가 오기 전의 예를 들어 2월부터 8월 중의 1 개월 이상의, 바람직하게는 연속하는 2개월 이상의 기간 동안 평균화된 복수의 기상 인자들과 식물 활동 강도 모드의 주성분(PC_AM) 및 식물 활동 위상 모드의 주성분(PC_PM) 사이의 상관 관계를 조사하였다.
- [0061] 기상인자들을 평균화하는 기간은 예를 들어 2개월씩 짝을 지어, 2-3월, 3-4월, 4-5월, 6-7월, 7-8월과 같이 지정될 수 있다.
- [0062] 또한 고려된 기상 인자들은 지표면 온도(Ts), 순 태양 단과 복사량(SW), 강수량(PRCP), 대기 부족 수증기압(VPD) 등이 있다.
- [0063] 이러한 기상 인자들은 미국의 NASA 고다드 우주 비행 센터와 NOAA, NCEP에서 합동으로 제공되는 GLDAS(Global Land Data Assimilation System)으로부터 월별 데이터로 획득될 수 있다.
- [0064] 이를 위해 도 3을 참조하면, 도 3과 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 방법에서 경험적 직교 함수 기법을 통해 선택된 두 개의 주성분들에 대한 예측 기상 인자들의 상관 관계를 식물 활동 강도 모드와 식물 활동 위상 모드에 따라 각각 예시한 그래프들이다.
- [0065] 도 3에 따르면, 북반구 중위도 지대의 대표적인 네 개의 자연 식생 지역들(Natural Vegetation Regions), 즉 중국 혼합림(CN_mixed), 시베리아 낙엽수림(Sib_decid), 캐나다 상록수림(CA_everg), 고비 초원(Gobi_grass)과, 두 개의 경작 지역들(Cultivated Vegetation Regions) 즉 북미 대륙 경작지(US_crop)과 유럽 대륙 경작지(EU_crop)에서, 집중 활성기의 식물 활동 강도 모드에 관하여, 네 가지 기상 인자들 즉, 지표면 온도(Ts), 태양 단과 복사(SW), 강수량(PRCP), 대기 부족 수증기압(VPD)의 상관 계수들이 각각 예시되어 있다. 다만, 대기 부족 수증기압(VPD)의 경우에 (-1)이 곱해져 있음을 유의한다.

- [0066] 세로축의 0.4 레벨 부근의 가로선은 신뢰 수준 95%의 상관 관계를 의미한다.
- [0067] 상관 계수들이 소정 문턱값 이상인 경우에 통계적으로 유의미한 상관 관계를 가진다고 보고, 그러한 상관 관계를 가지는 기상 인자들을 해당 식생 지역의 식물 활동 강도 또는 활동 위상을 예측하기 위한 예측 기상 인자로 선정할 수 있다.
- [0068] 예를 들어, 자연 식생 지역 중 중국 혼합림(CN_mixed)의 경우에, 6월부터 9월(Jun-Sep)까지의 집중 활성화기에 식물 활동 강도 모드(AM)는 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts)에 대해 큰 음의 상관 관계를 보이고, 4월-5월(A-M)의 태양 단과 복사(SW)에는 다소 약한 음의 상관 관계를, 4월-5월(A-M)의 강수량(PRCP)에는 다소 약한 양의 상관 관계를, 그리고 4월-5월(A-M)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)에는 강한 양의 상관 관계를 보인다.
- [0069] 따라서, 중국 혼합림의 경우에 식물 활동 강도를 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts)와 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)이고, 보조적으로 예측 기상 인자에 4월-5월(A-M)의 태양 단과 복사(SW)와 강수량(PRCP)이 더 포함될 수 있다.
- [0070] 경작 지역 중에 북미 대륙 경작지(US_crop)의 경우에, 7월부터 9월까지(Jul-Sep)의 집중 활성화기에 식물 활동 강도 모드(AM)는 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts)에 대해 강한 음의 상관 관계를, 4월-5월(A-M)의 태양 단과 복사(SW)에는 강한 음의 상관 관계를, 5월-6월(M-J)의 강수량(PRCP)에는 약한 음의 상관 관계를, 그리고 4월-5월(A-M)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)에는 강한 양의 상관 관계를 보인다.
- [0071] 따라서, 북미 대륙 경작지의 경우에 식물 활동 강도를 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts), 태양 단과 복사(SW), 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)이고, 보조적으로 예측 기상 인자에 5월-6월(M-J)의 강수량(PRCP)이 더 포함될 수 있다.
- [0072] 반면에, 경작 지역 중에 유럽 대륙 경작지(EU_crop)의 경우에, 6월부터 9월까지(Jun-Sep) 집중 활성화기에 식물 활동 강도 모드(AM)는 3월-4월(M-A)의 지표면 온도(Ts)에 대해 강한 음의 상관 관계를, 3월-4월(M-A)의 태양 단과 복사(SW)에 강한 음의 상관 관계를, 4월-5월(A-M)의 강수량(PRCP)에는 다소 강한 양의 상관 관계를, 그리고 3월-4월(M-A)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)에는 강한 양의 상관 관계를 보인다.
- [0073] 따라서, 유럽 대륙 경작지(EU_crop)의 경우에 식물 활동 강도를 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 3월-4월(M-A)의 지표면 온도(Ts), 태양 단과 복사(SW), 4월-5월(A-M)의 강수량(PRCP), 3월-4월(M-A)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)을 포함할 수 있다.
- [0074] 한편, 도 4에 따르면, 네 개의 자연 식생 지역들, 즉 중국 혼합림(CN_mixed), 시베리아 낙엽수림(Sib_decid), 캐나다 상록수림(CA_everg), 고비 초원(Gobi_grass)과, 두 개의 경작 지역들 즉 북미 대륙 경작지(US_crop)과 유럽 대륙 경작지(EU_crop)에서, 집중 활성화기의 식물 활동 위상 모드에 관하여, 마찬가지로 네 가지 기상 인자들 즉, 지표면 온도(Ts), 태양 단과 복사(SW), 강수량(PRCP), 대기 부족 수증기압(VPD)의 상관 계수들이 각각 예시되어 있다. 다만, 대기 부족 수증기압(VPD)의 경우에 (-1) 이 곱해져 있음을 유의한다.
- [0075] 예를 들어, 자연 식생 지역 중 중국 혼합림(CN_mixed)의 경우에, 5월부터 7월까지(May-Jul) 집중 활성화기의 시작에 관한 식물 활동 위상 모드(PM)는 5월-6월(M-J)의 지표면 온도(Ts)에 대해 큰 양의 상관 관계를 보이고, 5월-6월(M-J)의 태양 단과 복사(SW)에는 약한 양의 상관 관계를, 5월-6월(M-J)의 강수량(PRCP)에는 다소 약한 음의 상관 관계를, 그리고 5월-6월(M-J)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)에는 다소 강한 양의 상관 관계를 보인다.
- [0076] 따라서, 중국 혼합림의 경우에 식물 활동 위상을 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 5월-6월(M-J)의 지표면 온도(Ts)와 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)이고, 보조적으로 예측 기상 인자에 5월-6월(M-J)의 태양 단과 복사(SW)와 강수량(PRCP)이 더 포함될 수 있다.
- [0077] 경작 지역 중에 북미 대륙 경작지(US_crop)의 경우에, 7월부터 8월까지(Jul-Aug) 집중 활성화기의 시작에 관한 식물 활동 위상 모드(PM)는 5월-6월(M-J)의 지표면 온도(Ts)에 대해 강한 양의 상관 관계를, 2월-3월(F-M)의 태양 단과 복사(SW)에는 강한 양의 상관 관계를, 5월-6월(M-J)의 강수량(PRCP)에는 다소 강한 음의 상관 관계를, 그리고 3월-4월(M-A)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)에는 약한 음의 상관 관계를 보인다.
- [0078] 따라서, 북미 대륙 경작지(US_crop)의 경우에 식물 활동 위상을 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 5월-6월(M-J)의 지표면 온도(Ts), 2월-3월(F-M)의 태양 단과 복사(SW), 5월-6월(M-J)의 강수량(PRCP)이고, 보조적으로 예측 기상 인자에 3월-4월(M-A)의 대기 부족 수증기압(VPD $\times(-1)$)이 더 포함될 수 있다.
- [0079] 유럽 대륙 경작지(EU_crop)의 경우에, 5월부터 6월까지(May-Jun)의 집중 활성화기의 시작에 관한 식물 활동 위상

모드(PM)는 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts)에 대해 강한 양의 상관 관계를, 4월-5월(A-M)의 태양 단파 복사(SW)에는 강한 양의 상관 관계를, 4월-5월(A-M)의 강수량(PRCP)에는 강한 음의 상관 관계를, 그리고 5월-6월(M-J)의 대기 부족 수증기압($VPD \times (-1)$)에는 강한 음의 상관 관계를 보인다.

- [0080] 따라서, 유럽 대륙 경작지(EU_crop)의 경우에 식물 활동 위상을 예측할 수 있는 예측 기상 인자들은 4월-5월(A-M)의 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP), 5월-6월(M-J)의 대기 부족 수증기압($VPD \times (-1)$)을 포함할 수 있다.
- [0081] 다시 도 1로 돌아와서, 단계(S13)에서, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상의 각각의 예측을 위해, 상관 관계 분석에 기초하여 복수의 기상 인자들 중에서 통계적으로 유의미한 상관 관계를 가지는 것으로 판정되는 적어도 하나의 예측 기상 인자를 각각 선정할 수 있다.
- [0082] 단계(S14)에서, 선정된 적어도 하나의 예측 기상 인자의 현재 및 과거 데이터와 과거의 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상 데이터에 기초하여, 식물 활동 강도 및 식물 활동 위상을 예측할 수 있다.
- [0083] 실시예에 따라, 사례 기반 예측 알고리즘, 선형 회귀 분석 알고리즘 등의 주지된 예측 기법 중에서 선택된 예측 기법에 따라 예측할 수 있다.
- [0084] 예를 들어 사례 기반 예측 알고리즘이라면, 식물 활동 강도와 식물 활동 위상을 독립 변수로 하고 예측 기상 인자들을 종속 변수로 하여 기존의 25 년간의 사례들 중에서 가장 유사한 사례를 도출함으로써 독립 변수들의 값을 예측할 수 있다.
- [0085] 예를 들어, 자연 식생 지역 중 중국 혼합림(CN_mixed)의 경우에, 3월-4월 기간 동안 지표면 온도가 낮고, 태양 빛이 약하며, 강수량이 많고, 대기가 습윤할수록 6월부터 9월까지의 집중 활성기에 중국 혼합림 지역의 식물 활동 강도가 왕성하고 식물 활동 위상은 평균보다 약간 늦춰질 것이라고 예측할 수 있다.
- [0086] 경작 지역 중에 북미 대륙 경작지(US_crop)의 경우에, 3월-4월 기간 동안 지표면 온도가 낮고, 태양 빛이 약하며, 강수량이 많고, 대기가 습윤할수록 6월부터 9월까지의 집중 활성기에 식물 활동 강도가 강할 것이고, 대신에 식물 활동 위상은 평균보다 약간 늦춰질 것이라고 예측할 수 있다.
- [0087] 반면에, 경작 지역 중에 유럽 대륙 경작지(EU_crop)의 경우에, 3월-4월 기간 동안 지표면 온도가 낮고, 태양 빛이 약하며, 강수량이 적고, 대기가 습윤할수록 6월부터 9월까지의 집중 활성기에 식물 활동 강도가 강할 것이고, 하지만 식물 활동 위상은 평균과 거의 같을 것이라고 예측할 수 있다.
- [0088] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연간 식생 변동 예측 장치를 예시한 블록도이다.
- [0089] 도 5를 참조하면, 연간 식생 변동 예측 장치(50)는 식생 지수 데이터 저장부(51), 기상 인자 데이터 저장부(52), 예측 기상 인자 선정부(53), 식물 활동 강도 예측부(54) 및 식물 활동 위상 예측부(55)를 포함할 수 있다.
- [0090] 식생 지수 데이터 저장부(51)는 관심 대상의 식생 지역에 관하여 예를 들어 엽면적 지수(LAI)나 정규 식생 지수(NDVI)와 같은 식생 지수의 다년간에 걸친 데이터를 제공할 수 있다.
- [0091] 기상 인자 데이터 저장부(52)는 관심 대상의 식생 지역에 관하여 예를 들어, 지표면 온도(Ts), 태양 단파 복사(SW), 강수량(PRCP) 및 대기 부족 수증기압(VPD)을 포함하는 복수의 기상 인자들의 다년간에 걸친 데이터를 제공할 수 있다.
- [0092] 예측 기상 인자 선정부(53)는 EOF 분석부(531)에서 경험적 직교 함수 분석 방법을 통해 식생 지수를 식물 활동 강도 모드 및 식물 활동 위상 모드의 두 가지 고유 모드로 분해하고, 상관 관계 분석부(532)에서 식물 활동 강도 모드 및 식물 활동 위상 모드의 주성분들과 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계를 분석하며, 분석 결과에 따라 통계적으로 유의미하다고 판정된 형태의 기상 인자들을 예측 기상 인자로 선정할 수 있다.
- [0093] 실시예에 따라, 각 고유 모드의 주성분들은 년중 일부 구간, 예를 들어 집중 활성기에 한정하여 복수의 기상 인자들 사이의 상관 관계가 분석될 수 있다.
- [0094] 실시예에 따라, 복수의 기상 인자들은 연속하는 두 달 이상의 구간의 평균의 형태로 각 고유 모드의 주성분들과 상관 관계가 분석될 수 있다.
- [0095] 식물 활동 강도 예측부(54)는 식물 활동 강도 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 강도를 예측할 수 있다.

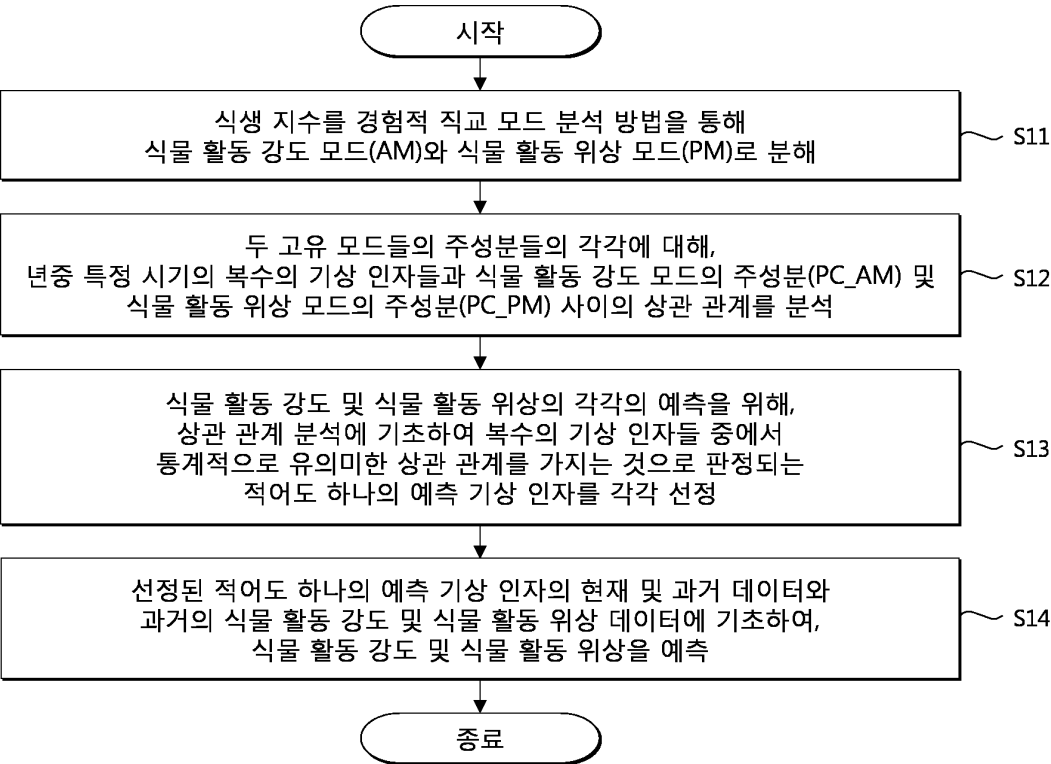
- [0096] 식물 활동 위상 예측부(55)는 식물 활동 위상 모드와 상관 관계를 가지는 것으로 선정된 예측 기상 인자들의 과거 및 현재 데이터와 식생 지수의 과거 데이터에 기초하여 식물 활동 위상을 예측할 수 있다.
- [0097] 실시예에 따라 식물 활동 강도 예측부(54) 및 식물 활동 위상 예측부(55)는 사례 기반 예측 알고리즘, 선형 회귀 분석 알고리즘 등의 주지된 예측 기법 중에서 선택된 예측 기법에 따라 각각 식물 활동 강도와 식물 활동 위상을 예측할 수 있다.
- [0098] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명이 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이와 균등하거나 또는 등가적인 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다 할 것이다.
- [0099] 또한, 본 발명에 따른 장치는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 기록매체의 예로는 ROM, RAM, 광학 디스크, 자기 테이프, 플로피 디스크, 하드 디스크, 비휘발성 메모리 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

부호의 설명

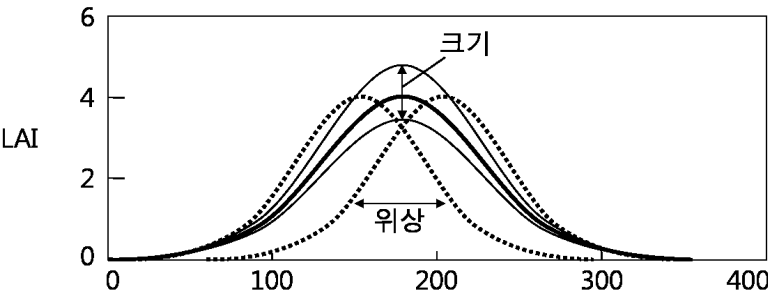
- [0100]
- 50 연간 식생 변동 예측 장치
 - 51 식생 지수 데이터 저장부
 - 52 기상 인자 데이터 저장부
 - 53 예측 기상 인자 선정부
 - 531 EOF 분석부
 - 532 상관 관계 분석부
 - 54 식물 활동 강도 예측부
 - 55 식물 활동 위상 예측부

도면

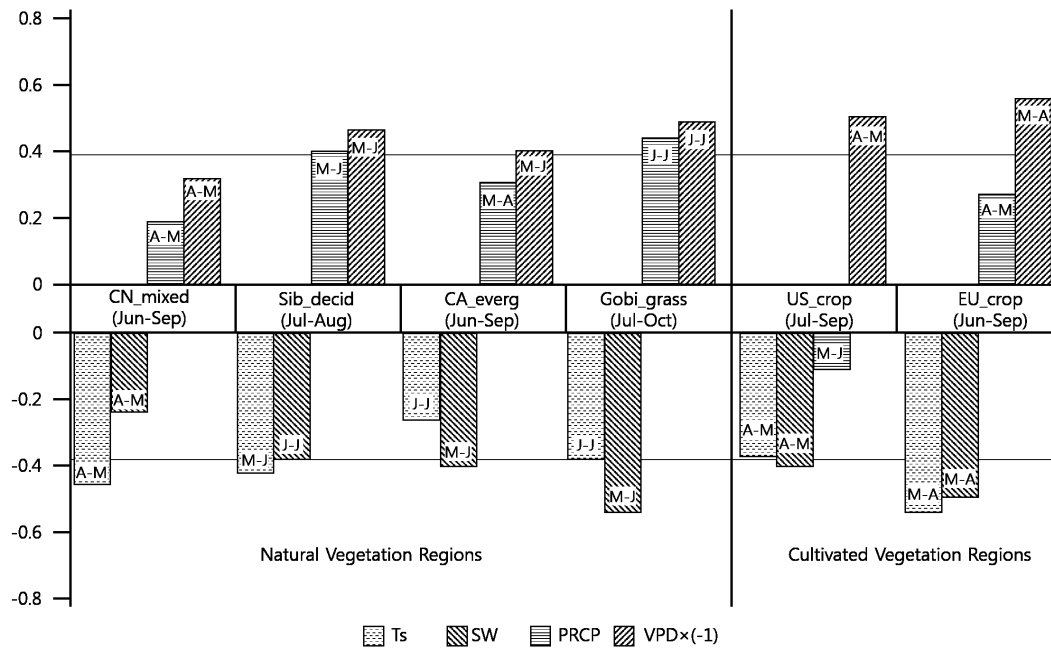
도면1



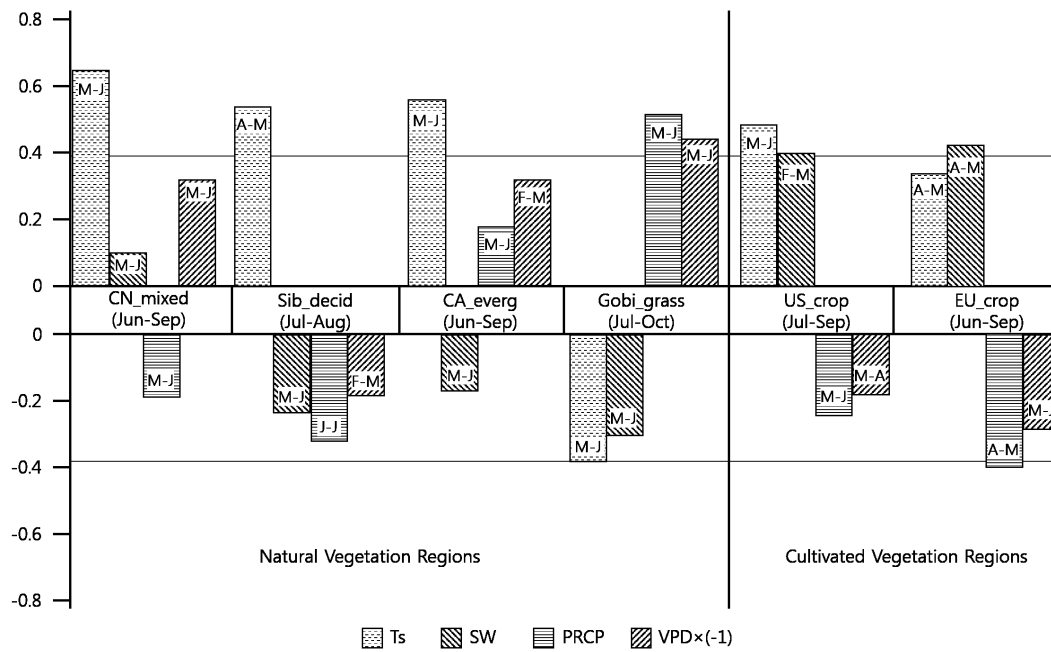
도면2



도면3



도면4



도면5

