



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년05월31일
(11) 등록번호 10-2538243
(24) 등록일자 2023년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/02 (2006.01) G01J 3/28 (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01) G01N 21/25 (2006.01)
G01N 21/55 (2014.01) G01N 21/64 (2006.01)
G01N 21/84 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01J 3/0256 (2013.01)
G01J 3/0205 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0007810

(22) 출원일자 2023년01월19일

심사청구일자 2023년01월19일

(56) 선행기술조사문헌

이정호, "두 개의 기하학적 관찰 구성을 통합하는 자동화된 지상 기반 초분광 시스템 개발", 서울대학교대학원 농업생명과학대학 협동과정 농림기상학, 석사학위논문, 2022.8.*

KR1020200032624 A

KR102395798 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

서울대학교 산학협력단

서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)

(72) 발명자

류영철

서울특별시 강남구 선릉로69길 19, 107동 1803호

이정호

서울특별시 송파구 충민로 152 송파과인타운3단지 303동 1004호

김종민

서울특별시 관악구 신림로 90-7 5층

(74) 대리인

신연철

전체 청구항 수 : 총 5 항

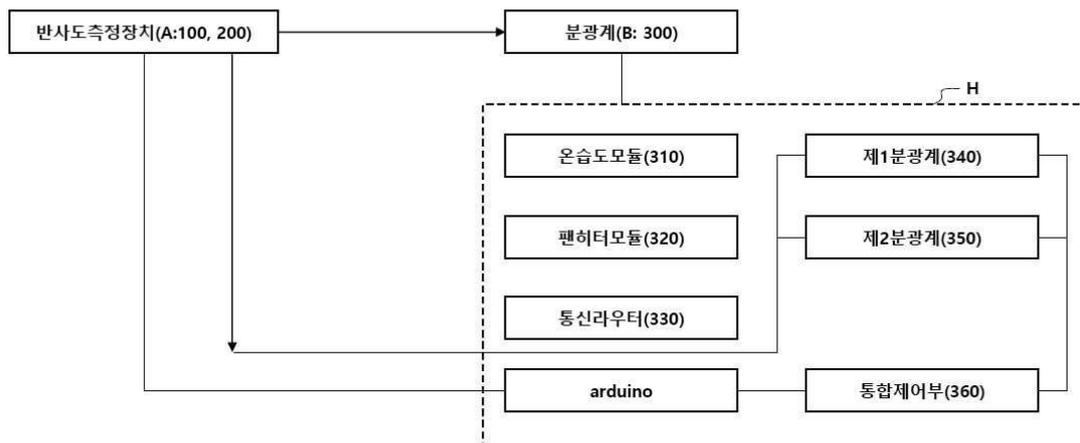
심사관 : 이병수

(54) 발명의 명칭 자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템

(57) 요약

본 발명은 초분광 지표 반사도 연속 관측을 통해 원하는 대상의 초분광 광량을 측정하고 지표 반사도 및 태양 유도 엽록소 형광 자료를 산출하는 장치와 여러개의 장치를 관리하는 소프트웨어에 관한 것으로, 초분광 지표 반사도 연속 관측을 통해 원하는 대상의 초분광 광량을 측정하고 지표 반사도 및 태양 유도 엽록소 형광 자료를 산출하는 장치를 제공하며, 동시에 장치를 관리하는 시스템 구조를 제공하여, 다양한 식생 구조에 대해 사용자가 원하는 필지에 시스템을 설치하여 지표 반사도와 태양 유도 엽록소 형광 자료를 얻을 수 있도록 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- G01J 3/0286 (2013.01)
- G01J 3/0291 (2013.01)
- G01J 3/28 (2013.01)
- G01N 21/25 (2013.01)
- G01N 21/55 (2013.01)
- G01N 21/64 (2013.01)
- G01N 2021/1797 (2013.01)
- G01N 2021/8466 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1405005313
과제번호	2020180B10-2222-BB01
부처명	산림청
과제관리(전문)기관명	한국임업진흥원
연구사업명	신기후체제대응연구
연구과제명	산림탄소 흡수량 추정 기계 학습 모델 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(재단)국가농림기상센터
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

모터하우징(100)의 전방에 배치되어, 숲캐노피에서 반사되는 방사조도와, 광채 및 방사조도 데이터를 샘플링하는 광학모듈(200)을 포함하는 반사도측정장치(A); 및 상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로, 지표반사도 및 태양유도 엽록소 형광물질(SIF)을 포함하는 결과값을 산출하는 분광계(300;B);를 포함하며,

상기 분광계(300;B)는,

외부와 격리되는 밀폐구조를 구현하는 시스템하우징(H);

상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 초분광 복사계 안정성을 위해 온도와 습도를 제어하는 온습도모듈(310);

상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 내부의 온도조절 기능을 수행하는 팬 및 히터를 구비하는 팬히터모듈(320);

상기 광학모듈(200)과 광섬유부재로 각각 연결되는 제1분광계(340) 및 제2분광계(350);

상기 제1분광계(340) 및 제2분광계(350)를 통해 결과값을 산출하는 통합제어부(360);를 포함하는, 자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 통합제어부(360)는,

상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로 데이터 레벨을 분할하여 각 레벨 데이터의 품질을 제어하는 데이터 전처리부(361);

상기 데이터 전처리부(361)에서 처리된 데이터를 기반으로, 반사율을 산출하는 반사율산출부(362);

상기 광학모듈에서 수집되는 스펙트럼의 품질을 유지하기 위해, 보정계수를 산출하여 방사측정을 교정하는 방사측정교정부(363);

측정된 캐노피 복사값을 산출하고, SIF를 산출하는 SIF산출부(364);

상기 산출된 반사율을 적용하여, 식생지수값을 산출하는 식생지수산출부(365);를 포함하는,

자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 반사율산출부(362)는,

하기 {식 4}를 적용하여 양방향 반사도 및 양반구 반사도를 산출하는,

자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템.

{식 4}

$$BRF = HDRF \cdot \pi, BHR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (Eq. 4)$$

HCRF(Hemispherical-Conical Reflectance Factor: 표면 반사), BHR(Bi-hemispherical Reflectance: BHR, 알베도),

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 방사측정교정부(363)는,

상기 {식 4}에 따른 반사도 측정을 수행한 결과에 대하여, 하기의 {식 5}에 의해 산출된 교정계수를 산출하여 적용하는,

자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템.

{식 5}

$$E(\lambda) = C_{cal-irr} \cdot S_r(\lambda), L(\lambda) = C_{cal-rad} \cdot S_r(\lambda) \quad (Eq.5)$$

{측정 신호 $S_r(\lambda)$ (단위: 카운트/s), 방사선량 $E(\lambda)$, 방사광도 $L(\lambda)$, 교정 계수 $C_{cal-irr}(\lambda)$, $C_{cal-rad}(\lambda)$ }

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 SIF산출부(364)는,

{식 6}에 따른 캐노피복사값을 산출하고, {식 7}에 의해 SIF를 산출하는,

자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템.

{식 6}

$$L_{canopy}(\lambda) = \frac{R_m(\lambda)E_{in}(\lambda)}{\pi} + F_m(\lambda) + error(\lambda), \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2] \quad (Eq.6)$$

(λ 는 파장, $L(\lambda)$ 는 측정된 캐노피복사, $E(\lambda)$ 는 측정된 입사 태양 복사 조도, R_m 은 반사율, F_m 은 태양 유도 엽록소 형광물질, $error(\lambda)$ 는 관측 및 시뮬레이션된 방사광의 모델링 오류)

{식 7}

$$SIF = k_2 \times \lambda_m + b_2 \quad (Eq.7)$$

(SIF는 태양 유도 엽록소 형광물질 (SIF; Sun-Induced chlorophyll fluorescence), λ_m 은 파장)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초분광 지표 반사도 연속 관측을 통해 원하는 대상의 초분광 광량을 측정하고 지표 반사도 및 태양 유도 엽록소 형광 자료를 산출하는 장치와 여러개의 장치를 관리하는 소프트웨어에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 특정 지역의 식생은 해당 지역의 탄소 순환 및 물 순환과 밀접한 관계에 있고, 해당 지역의 기후 변화에 민감하게 반응하므로, 지구 환경을 이해하기 위해서는 다양한 지역의 식생을 지속적으로 관측할 것이 요구될 수 있다.

[0003] 식생 관측은 위성을 이용한 거시적 관측 방식 또는 현지 조사를 통한 미시적 관측 방식으로 이루어질 수 있다. 위성에 의한 식생 관측은 넓은 범위에 대해 이루어질 수 있으나, 위성 관측 자료에 대한 검증 및 보정을 위해 국지적인 현장 관측값이 필요한 경우가 빈번하게 발생할 수 있다. 이를 위해, 지표 레벨에서의 식생 관측을 수

행하기 위한 분광 센서가 활용될 수 있다.

[0004] 하지만, 아직 위성 관측 자료에 대한 검정, 보정은 잘 이루어지고 있지 않고 있으며, 위성 데이터를 보다 정확히 검정, 보정하기 위해서는 지표면에서 위성과 동일한 방법으로 지표 반사도를 측정할 수 있는 수단이 필요하다.

[0005] 초분광 원격 감지는 식생 구조와 기능을 모니터링하는 강력한 도구가 되고 있다. 특히, 태양 유도 엽록소 형광 물질 (SIF; Sun-Induced chlorophyll fluorescence) 및 캐노피 반사율 모니터링(canopy reflectance monitoring)은 식물의 생리적 및 구조적 변화를 이해하는 데 널리 사용되어 왔으며, 현장 분광법(field spectroscopy)은 높은 스펙트럼, 시간 분해능 현장 데이터를 제공하고 작은 영역에서 넓은 영역으로 스케일업 측정 수단을 제공하는 중요한 기술로 확립되어 가고 있다. 그러나 수많은 연구가 현장 분광법 시스템(field spectroscopy system)을 개발했지만 원격 감지 관찰에 대한 정밀한 검증 및 보정이 이루어지고 있지 않으며, 초분광 데이터를 지속적으로 수집하는 것은 여전히 어려운 과제로 인식되고 있다.

[0006] 또한, 태양 유도 엽록소 형광(SIF)은 지표 반사도 보다 더욱 식물의 광합성 및 탄소 순환에 연관이 깊다는 연구가 많이 진행되었다. 이러한 생화학적 메커니즘, 스펙트럼 특성 및 잎에서 캐노피까지의 광합성 모델링에 대한 연구를 통해 지표 반사도 관측은 식생의 구조와 기능을 모니터링하는 데 중요한 역할을 하게 되었다. 하지만 위성 제품 및 SIF 규모에 대한 불확실성은 여전히 해결되지 않은 문제로 남아 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-2236756호(2021.03.31)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 문제를 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 분광 지표 반사도 연속 관측을 통해 원하는 대상의 초분광 광량을 측정하고 지표 반사도 및 태양 유도 엽록소 형광 자료를 산출하는 장치를 제공하며, 동시에 장치를 관리하는 시스템 구조를 제공하여, 다양한 식생 구조에 대해 사용자가 원하는 필지에 시스템을 설치하여 지표 반사도와 태양 유도 엽록소 형광 자료를 얻을 수 있도록 하는 시스템을 구축하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상술한 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 본 발명의 실시예에서는, 도 1 내지 도 3에 도시된 것과 같이, 모터하우징(100)의 전방에 배치되어, 숲캐노피에서 반사되는 방사조도와, 광채 및 방사조도 데이터를 샘플링하는 광학모듈(200)을 포함하는 반사도측정장치(A); 상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로, 지표반사도 및 태양유도 엽록소 형광물질(SIF)을 포함하는 결과값을 산출하는 분광계(300;B); 상기 분광계(300;B)는, 외부와 격리되는 밀폐구조를 구현하는 시스템하우징(H); 상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 초분광 복사계 안정성을 위해 온도와 습도를 제어하는 온습도모듈(310); 상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 내부의 온도조절 기능을 수행하는 팬 및 히터를 구비하는 팬히터모듈(320); 상기 광학모듈(200)과 광섬유부재로 각각 연결되는 제1분광계(340) 및 제2분광계(350); 상기 제1분광계(340) 및 제2분광계(350)를 통해 결과값을 산출하는 통합제어부(360); 자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템을 제공할 수 있도록 한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 실시예에 따르면, 초분광 지표 반사도 연속 관측을 통해 원하는 대상의 초분광 광량을 측정하고 지표 반사도 및 태양 유도 엽록소 형광 자료를 산출하는 장치를 제공하며, 동시에 장치를 관리하는 시스템 구조를 제공하여, 다양한 식생 구조에 대해 사용자가 원하는 필지에 시스템을 설치하여 지표 반사도와 태양 유도 엽록소 형광 자료를 얻을 수 있도록 한다.

[0011] 특히, 본 발명의 실시예에서는, 초분광 복사계 안정성(hyperspectral radiometer stability)을 위해 온도와 습도를 제어하는 분광시스템을 밀폐형구조로 구현하고, 품질 관리 프로토콜과 방사 측정, 파장 교정 프로토콜을

갖춘 데이터 관리 프로토콜(quality control protocol and radiometric-, wavelength calibration protocol)을 구축하여 효율적인 데이터 처리를 구현할 수 있도록 한다.

[0012] 또한, 반구형 및 반구형 원추형 반사율(hemispherical-conical reflectance)을 동시에 측정하기 위해 서보 모터를 사용하여 회전하는 프리즘을 채택하여 상향, 하향 방사 조도 및 하향 방사를 측정할 수 있도록 하는 장치와 연계하여, 위성 자료를 검정, 보정 및 평가, 식생의 구조와 기능 모니터링을 할 수 있도록 하는 지표 반사도 관측 장치를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0013] 특히, 초분광 반사도 관측 시스템은 다양한 식생 구조에 대해 사용자가 원하는 필지에 시스템을 설치하여 지표 반사도와 태양 유도 엽록소 형광 자료를 얻을 수 있도록 한다. 자료는 위성 자료를 검보정 및 식생의 구조와 기능을 모니터링 하는데 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템을 구성하는 구성블록도이다.
- 도 2는 도 1의 구현예를 도시한 개념도이다.
- 도 3은 도 1의 통합제어부의 기능을 설명하기 위한 블록구성도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 회전 프리즘을 적용한 반사도 측정 장치의 주요 구성을 도시한 구성 블록도이다.
- 도 5는 도 4의 구성을 구현한 회전 프리즘을 적용한 반사도 측정 장치의 사시개념도이다.
- 도 6은 도 5의 본 발명의 하부에서 입사하는 광의 이동 경로를 표시한 것이다.
- 도 7에 도시된 것은, 본 발명의 메인프리즘의 형태와 기능을 설명하기 위한 개념도이다.
- 도 8는 본 발명의 적용예를 설명하기위한 순서도이다.
- 도 9은 본 발명에서의 데이터 관리 및 처리 프로토콜을 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0016] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 자동화된 지상 기반 초분광 필드 분광시스템(이하, '본 발명'이라 한다.)을 구성하는 구성블록도이며, 도 2는 도 1의 구현예를 도시한 개념도이다. 도 3은 도 1의 통합제어부의 기능을 설명하기 위한 블록구성도이다.
- [0018] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명은 모터하우징(100)의 전방에 배치되어, 숲캐노피에서 반사되는 방사조도와, 광채 및 방사조도 데이터를 샘플링하는 광학모듈(200)을 포함하는 반사도측정장치(A)와, 상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로, 지표반사도 및 태양유도 엽록소 형광물질(SIF)을 포함하는 결과값을 산출하는 분광계(300:B)를 포함하여 구성된다.
- [0019] 상기 반사도측정장치(A)는 도 4 및 도 5에서 후술하겠지만, 디퓨즈 글라스, 굴절 렌즈, 회전 프리즘을 이용해 양반구 반사도 (bi-hemispherical reflectance)와 양방향 반사도 (bidirectional reflectance)를 측정하도록 하여, 위성 자료를 검정, 보정 및 평가 / 식생의 구조와 기능 모니터링을 할 수 있도록 하는 장치 구성이다.
- [0020] 본 발명에서는, 반사도측정장치(A)를 적용하여, 반구형 및 반구형 원추형 반사율(hemispherical-conical reflectance)을 동시에 측정하기 위해 서보 모터를 사용하여 회전하는 프리즘을 채택하여 상향, 하향 방사 조도

및 하향 방사를 측정할 수 있도록 한다.

- [0021] 상기 반사도측정장치(A)에서 측정된 데이터는, 광섬유부재를 통해 분광계(B:300)로 전달되며, 데이터 처리를 통해, 반사율, SIF, 정규화 된 차이 식생 지수 (NDVI), 향상된 식생 지수 (EVI), 식생의 근적외선 복사 지수 (NIRv) 및 광화학 반사율 지수 (PRI)와 같은 식생 지수 등의 산출값을 산출할수 있게 된다.
- [0022] 이러한 상기 반사도측정장치(A)에서 측정된 데이터를 처리하는 것은, 데이터 처리를 수행하는 최적 환경을 구축할수 있도록 하기 위하여, 하이퍼 스펙트럼 복사계 안정성을 위해 온도와 습도를 제어하도록 시스템 인클로저로 구축된 분광계(300)를 설계하였으며, 이러한 분광계는 인터넷을 통해 충분한 전력 전압과 네트워크를 제공할 수 있도록 하였다.
- [0023] 본 발명에서는, 상술한 것과 같이, 안정적인 데이터 수집을 위한 시스템 인클로저(분광계;B)와 반구형 및 반구형 원뿔형 동시 측정을 가능하게 하는 반사도측정장치(A)로 구성된다.
- [0024] 또한, 상술한 본 발명의 분광계는, 근적외선 SIF 및 식생 지수 관찰과 반사율 측정을 동시에 수행할 수 있는 새로운 지상 기반 초분광 시스템으로 구현될 수 있게 된다.
- [0025] 이를 위하여, 본 발명의 상기 분광계(B; 300)는, 외부와 격리되는 밀폐구조를 구현하는 시스템하우징(H)과, 상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 초분광 복사계 안정성을 위해 온도와 습도를 제어하는 온습도모듈(310), 상기 시스템하우징(H) 내부에 배치되어, 내부의 온도조절 기능을 수행하는 팬 및 히터를 구비하는 팬히터모듈(320), 상기 광학모듈(200)과 광섬유부재로 각각 연결되는 제1분광계(340) 및 제2분광계(350), 상기 제1분광계(340) 및 제2분광계(350)를 통해 결과값을 산출하는 통합제어부(360)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0026] 구체적으로, 본 발명의 분광계(B: 300)는, 초분광 복사계 안정성을 위해 온도와 습도를 제어하도록 시스템 인클로저를 설계했으며 인터넷을 통해 충분한 전력 전압과 네트워크를 제공할 수도 있도록, 시스템하우징(H)의 내부에 주요 구성 회로 및 부품을 배치, 설계하였으며, 특히, 상기 제1분광계(340) 및 제2분광계(350)의 경우, 장기간에 걸쳐 데이터를 안정적으로 기록하려면 열 노이즈 수준이 예측 가능한 방식으로 작동하도록 분광계를 안정적인 온도로 유지해야 하는바, 25 ° C에서 온도 제어가 될 수 있도록 온습도모듈(310)을 통해 온도와 습도를 모니터링하고, 팬히터를 통해 온도조절을 수행할 수 있도록 하였다.
- [0027] 특히, 본 발명에서의 분광기능을 수행하는 구성은, 상기 제1분광계(340) 및 제2분광계(350)의 두개의 분광기를 적용할 수 있도록 하며, 일례로, SIF 및 VNIR 범위 반사율을 측정하기 위한 2개의 고분해능, 고감도 분광계(QE Pro, HR2000+, Ocean Optics Inc., Dunedin, FL, USA)로 구성할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 시스템에 사용되는 특정 QE Pro 분광기(제1분광계)는 단일 통합 기간 동안 일반적인 SNR이 1,000입니다. 긴 통과 필터 (>695 nm), 25-μm 슬릿 및 H15 격자가 장착되어 있어 최대 절반에서 전체 폭에서 0.15-0.17 nm의 분해능으로 730-786 nm의 스펙트럼 범위를 제공한다. 이 스펙트럼 범위는 O2A 대역에서 SIF를 검색하는 데 적합하다.
- [0029] 또한, HR2000+ 분광계(제2분광계)는 긴 통과 필터 (>695 nm), 25-μm 슬릿 및 H15 격자가 장착되어 있어 최대 절반에서 전체 폭에서 0.15-0.17 nm의 분해능으로 350-1050 nm의 스펙트럼 범위를 제공한다.
- [0030] 두 개의 분광계는 본 발명의 구성에서 반사도측정장치(A)에서 제공되는 광섬유부재와 연결되며, 1:2 라우팅을 제공하는 분기 광섬유로 각각 연결한다. 이를 통해 동일하거나 다른 코어 직경 또는 파장 범위의 섬유를 각 다리에 사용할 수 있다. 광섬유 케이블은 초목에서 나가는 방사 조도 및 들어오는 태양 복사 조도를 사용하여 분광계로 표적의 광자를 측정하는 데 사용하는 데이터를 제공하게 된다.
- [0031] 도 4는 도 1 및 도 2에서 상술한 본 발명의 반사도측정장치(A)의 구조를 설명하기 위한 블록 구성도이며, 도 5는 도 4의 반사도측정장치(A)의 개념도이다.
- [0032] 도 4 및 도 5를 참조하면, 본 발명의 반사도측정장치(A)는, 내부에 모터를 수용하는 모터하우징(100), 상기 모터하우징의 전방에 배치되어, 슛캐노피에서 반사되는 방사조도와, 광채 및 방사조도를 샘플링하는 광학모듈(200)을 포함하여 구성된다.
- [0033] 즉, 상기 모터하우징(100)의 내부에는, 마이크로컨트롤러에 의해 제어되는 서보모터를 구비하며, 후술하는 메인 프리즘의 각도를 회전을 통해 회전할 수 있도록 하는 기능을 수행한다.
- [0034] 또한, 상기 광학모듈(200)은, 상부 및 하부에 상호 대향하게 배치되어, 외부 환경에서 진입과 진출하는 방사조도를 샘플링하기 위해 코사인 보정된 확산글라스(211, 212)를 포함하는 확산부(210)와 상기 확산글라스(211,

212)의 사이의 영역에 배치되며, 상기 모터에 의해 회전하는 메인프리즘(221)을 구비하는 광학부(220), 하측 영역에서 진입하는 방사조도를 입사하는 시준렌즈(231)와 상기 시준렌즈(231)에서 입사하는 방사조도를 굴절하여 상기 메인프리즘(221)로 가이드하는 서브프리즘(232)를 포함하는 입사부(230), 상기 메인프리즘(221)을 통해 입사되는 캐노피에서 입사하거나 반사되는 빛을 가이드 받아 분광계(300)로 가이드하는 광섬유부재(241)를 포함하는 가이드부(240)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0035] 구체적으로, 상기 광학모듈(200)은 확산글라스를 케이싱 내에 장착하는 확산부(210)를 구비한다. 이 경우, 확산부(210)는, 상기 모터하우징(100)과 인접하여 배치되도록 하며, 상부 부분으로 돌출되는 구조로 형성되는 제1 확산글라스(211)과, 하부 부분으로 돌출되는 구조로 형성되는 제2확산글라스(212)가 상호 대향하는 구조로 배치될 수 있으며, 각각의 확산글라스는 장치 내부로 들어오고 나가는 방사조도를 샘플링하기 위한 것으로, 코사인 보정된 디퓨저 글라스를 장착한 원통형 구조의 모듈로 구현될 수 있다.

[0036] 상기 확산부(210)를 통해 상부와 하부에서 유입되는 광의 방사조도를 샘플링하기 위해, 코사인 보정된 반구형 확산기를 구비하며, 상기 확산부(210)의 아래, 즉, 제1확산글라스(211)와 제2확산글라스(212)의 사이의 내부 공간에는 메인프리즘(221)이 배치되게 된다. 상기 메인프리즘(221)은, 제1확산글라스(211)와 제2확산글라스(212)에서 유입된 샘플 광을 가이드하여, 가이드부(240)의 광섬유부재를 통해 분광계(300)으로 전달하게 된다.

[0037] 상기 메인프리즘(221)은, '직각프리즘' 구조의 것을 적용하여, 단면이 직각 이등변 삼각형 모양으로 구성된 구조이며, 각 모서리각도는 45°, 45°, 90°로 구현되는 구조를 적용할 수 있다.

[0038] 도 6에 도시된 것은, 본 발명의 메인프리즘(221)의 형태와 기능을 설명하기 위한 개념도로, 본 발명의 메인프리즘의 경우, 면이 2등변 직각 삼각형이 되는 전반사 프리즘. 사면 BC에 직각으로 입사(入射)한 빛은 두번 반사되어 180° 방향을 바꾸어 입사 방향으로 돌아간다. 측면 AC에 수직으로 입사한 빛은 90° 편각하여 사출된다. 상(像)의 상하는 반전하지만 좌우는 변화하지 않는 것으로, 도 6 (b)의 형태로, 본 발명에서는 입사하는 샘플광을 가이드부로 가이드할 수 있도록 한다.

[0039] 이에, 본 발명의 메인프리즘은 상기 서보모터에 의해 각도를 조절할 수 있도록 회전 동작을 구현할 수 있도록 구현한다. 나아가, 본 발명의 일실시예에서는, 알루미늄 및 MgF₂ 코팅이 이루어진 직각프리즘을 적용하여 반사효율을 높일 수 있도록 한다.

[0040] 상기 메인프리즘(221)은 본 발명의 실시예에서는, 회전 각도조절에 의해 4단계의 단계조절이 가능하도록 설정할 수 있으며, 1) 입사하는 방사조도(irradiance), 2) 출사하는 방사조도(irradiance), 3) 출사하는 빛휘도(radiance) 4) 암전류(dark current) 측정과 같이, 4단계 조절로 프리즘 각도조절을 수행할 수 있다. 이러한 각도조절의 변환단계는, 각 신호의 측정에서 측정값이 겹치는 것을 방지하기 위하여, 일정한 버퍼시간(ex; 5초 간격)을 둘 수 있다.

[0041] 상기 입사부(230)는, 하측 영역에서 진입하는 방사조도를 입사하는 시준렌즈(231)와 상기 시준렌즈(231)에서 입사하는 방사조도를 굴절하여 상기 메인프리즘(221)으로 가이드하는 서브프리즘(232)를 포함하여 구성된다. 서브프리즘(232)를 경유하여, 메인프리즘(221)을 경유한 방사조도의 경우, 광섬유부재를 포함하는 가이드부(240)에 의해 분광계(300)으로 전달되게 된다.

[0042] 본 발명에서의 이러한 동작은 다음과 같은 기능을 구현할 수 있다.

[0043] 1. 암전류의 측정기능

[0044] 우선, 장치내에 모든 빛을 차단하여, 검출기를 이용하여 암전류(dark current)측정을 수행한다. 암전류는 다른 스펙트럼 신호가 추가 처리되기 전에 감산된다. 이 경우 메인프리즘 방향은 차단물 쪽이며, 메인프리즘(221)을 수용하는 프리즘 홀더(222)는 샘플링 포트를 차단한다. 본 발명의 광학모듈을 케이싱하는 하우징은 검은색으로 칠해져 있으며, 아래쪽에 검은색 펠트층이 부착되어 프리즘 방향이 닫힌 위치에 있을 때 빛을 차단할 수 있도록 한다. 암전류의 측정값을 빼야 하는(감산하는) 이유는, 측정값에서 기준선을 제거하고, 측정값에서 암전류 기여를 제거하며, 배경 조명을 제거하는 사용하기 위함이다.

[0046] 2. 캐노피에 입사 및 반사되는 방사조도 측정기능

[0047] 다음으로, 본 발명에서는, 코사인 보정 반구형 디퓨저(확산글라스)를 통해 캐노피에 입사하거나 캐노피에 반사되는 방사 조도 측정이 가능하도록 한다. 이 경우 도 5에 도시된 메인프리즘(221) 방향은 위쪽(0°) 또는 아래쪽(180°)로 배치할 수 있도록 한다. 이때, 프리즘 홀더(222)는 확산글라스(212)를 통과하는 빛이 광섬유에 의

해 샘플링되어 분광계로 전송되도록 배치된다.

- [0049] 3. 서브 프리즘과 시준 렌즈를 통해 캐노피에 반사된 광채 측정
- [0050] 본 발명에 따른 장치에서는, 도 5에 도시된 서브 프리즘(232)과 시준 렌즈(231)를 통해 캐노피에 반사된 광채 측정을 수행할 수 있다.
- [0051] 이 경우, 메인 프리즘(221)은 디퓨저 포트(213)가 차단되고 대상의 빛이 광섬유 시야에 반사되도록 배치한다. 이때 메인 프리즘(221)의 방향은 45° 로 설정하여 회전 배치된다. 대상의 입사광은 20° 시야의 시준 렌즈(231)에 의해 수집되고, 서브 프리즘(232)을 통해 메인 프리즘(221)으로 반사된다. 광도 측정의 시야각은 암실에서 초점 거리를 조정하여 20° 로 설정하였다.
- [0052] 이하에서는, 도 1 및 도 2, 도 5에 도시된 본 발명에 따른 장치를 적용하여, 상부 및 하부 방향에서의 스펙트럼을 수집하고, 분광계를 통해 데이터를 처리 및 분석하는 과정을 설명하기로 한다.
- [0053] 도 4 및 도 5에서 상술한 것과 같이, 본 발명에서 반사도측정장치(A)는 반구형 및 반구형 원추형 반사율(hemispherical-conical reflectance)을 동시에 측정하기 위해 서보 모터를 사용하여 회전하는 프리즘을 채택하여 상향, 하향 방사 조도 및 하향 방사를 측정할 수 있도록 한다.
- [0054] 이렇게 측정된 데이터를 도 1 및 도 2에서 상술한 분광계를 통해 데이터 처리를 수행하고, 반사율 및 SIF 산출, 정규식생지수등의 산출 등의 기능을 수행하도록 한다. 이러한 기능은, 분광계를 통해 데이터를 처리하고, 통합 제어부를 통해 데이터를 산출하는 과정을 통해 구현되게 된다.
- [0055] 이를 위해, 도 3에 도시된 것과 같이, 분광계(300)의 통합제어부(360)는, 상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로 데이터 레벨을 분할하여 각 레벨 데이터의 품질을 제어하는 데이터 전처리부(361)와, 상기 데이터 전처리부(361)에서 처리된 데이터를 기반으로, 반사율을 산출하는 반사율산출부(362), 상기 광학모듈에서 수집되는 스펙트럼의 품질을 유지하기 위해, 보정계수를 산출하여 방사측정을 교정하는 방사측정교정부(363), 측정된 캐노피 복사값을 산출하고, SIF를 산출하는 SIF산출부(364), 상기 산출된 반사율을 적용하여, 식생지수값을 산출하는 식생지수산출부(365)를 포함하여 구성될 수 있도록 한다.
- [0056] (1) 데이터의 수집
- [0057] 본 실시예에서는, 분광계로는, QE Pro 및 HR2000+ 분광 방사계(Ocean Insight, Dunedin, FL, USA)를 적용한 것을 실시예로 하여 수집한 결과를 기준으로 설명하기로 한다. 본 발명의 장치를 적용하는 환경은 40m 타워 상단(캐노피 위 약 20m)에 설치된 도 2의 장치를 사용하여 원적외선 SIF(760nm)와 스펙트럼 반사율(400~900nm)을 측정하였다.(데이터는 현지 시간으로 05:30부터 20:30까지 1분마다 05:30에서 20:30 사이에 연속적으로 기록되었다. 데이터 수집 시퀀스에서 단일 빔 샌드위치 방법을 사용하여 이전 연구에서 제안한 방법에 따라 하향 및 상향 스펙트럼을 수집하였다(Cogliati, Rossini et al. 2015).
- [0058] 관찰 순서는 도 8에 도시된 것과 같은 순서로 진행하였다. 본 발명의 도 5에 구조에 따른 장치를 제어하여, 우선 첫 번째 하향 태양 복사 조도, 상향 복사 조도 및 두 번째 하향 복사 조도를 순차적으로 수집한다. 시간 지연으로 인한 태양 복사 조도의 변화의 영향은, 두 번의 하향 복사 조도 측정을 평균화하여 줄일 수 있다. 일반적으로 전체 측정은 1분 이내에 수행할 수 있다. 열 노이즈와 관독 노이즈로 인한 암전류(DC)는 통합 시간과 온도에 따라 지속적으로 변화하므로, 암전류(DC)는 각 측정 시퀀스의 끝에 기록하였다.
- [0060] (2) 데이터 관리 및 전처리
- [0061] 현장 데이터를 관리하고 처리하기 위한 공통 프로토콜이 필수적이다. 또한 데이터 레벨을 분할하여 각 레벨 데이터의 품질을 제어할 수 있다. 또한, 현장 스펙트럼 데이터는 항공 및 위성 데이터를 검증하는 데 자주 사용되며 일반적으로 실측 자료라고 하며 항공 이미징 분광계와 지상 기반 이미징 분광계의 처리 수준은 본질적으로 동일하다. 따라서 데이터 레벨을 분리하면 스펙트럼 정보 계층 구조 내의 다양한 처리 수준에서 현장 및 항공 분광학 데이터의 교차 검증 전략과 관련된 어려움과 데이터 품질의 중요성을 인식하는 효과적인 데이터 관리를 수행할 수 있게 된다.
- [0062] 본 발명에서는, 상기 광학모듈에서 제공되는 데이터를 기반으로 데이터 레벨을 분할하여 각 레벨 데이터의 품질을 제어하는 데이터 전처리부(361)를 통해, 데이터 레벨을 분리하여 전처리할 수 있도록 한다. 도 9는 이러한 본 발명에서의 데이터 관리 및 전처리 프로토콜을 도시한 것이다.
- [0063] 레벨 0(Level 0)은 원시 디지털 숫자(DN), 센서 생성 파일, 파일 시스템에 바이너리 객체로 저장되며, 레벨

1(Level 1)은 방사성 측정 보정 데이터를 의미하는 국제 표준에 따라 추적할 수 있는 방사 및 방사 조도로 스펙트럼 측정을 나타낸다. 레벨 2(Level 2)는 반구형 원추형 또는 이중 반구형 빔 형상의 반사율 계수로 구성되며, 이는 기기 설정 및 반사율 계수로의 조도/ 방사 변환 알고리즘에 따라 다를 수 있으며, 레벨 3(Level 3)은 파생된 생물 지구 물리학 적 정보 (예 : 추정 된 식생 특성)를 통합한다.

[0065] (3) 반사율 산출부의 기능

[0066] 본 발명의 통합제어부는, 도 3 및 도 4에서와 같이, 상기 데이터 전처리부(361)에서 처리된 데이터를 기반으로, 반사율을 산출하는 반사율산출부(362)를 구비한다.

[0067] 일반적으로 카운트의 측정값(DN, 레벨 0)에는 빛으로 인한 신호(S)의 3가지 기여도가 있다.

[0068] {식 1}

$$DN(\lambda) = S(\lambda) + DC(\lambda) + BL(\lambda) \quad (Eq.1)$$

[0069] (카운트측정값(DN), 암전류(DC), 신호(S), 기준선(BL), 파장(λ))

[0072] 하나의 광자를 흡수하는 전자에서 발생하는 실제 신호(S_r)는 적분 시간 (IT)에 따라 선형으로 상승한다. 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 장치를 이용하여 측정하는 경우, 암전류(DC)가 직접 측정되기 때문에, 기준선(BL) 값이 암전류(DC) 값에 포함된다. 이에 따르면 실제 신호는 식 (2)를 사용하여 계산되게 된다.

[0073] {식 2}

$$S_r(\lambda) = \frac{DN(\lambda) - DC(\lambda)}{IT} \quad (Eq.2)$$

[0074] 식 2는 상향(DN_{up}), 하향(DN_{dw}), 렌즈방향(DN_{rad}) 측정들(DNs)에 적용되며, 각 방사계수(C_{cal})를 통해, 출사 광도 및 조도(유입 조도(E_{in}), 발신 조도(E_{out}), 발신 조도(L_{out}), 레벨 1)를 계산하였다.

[0075] 반사율 인자(레벨 2), R은 표면에 의해 반사된 복사 플럭스와 이상적인(무손실) 및 확산(램버트, Lambertian) 표준 표면에 의해 동일한 반사 빔 지오메트리 및 파장 범위에 반사된 복사 플럭스의 비율이다.

[0076] 위의 개념을 바탕으로 원격 감지에 사용되는 가장 관련성이 높은 양, 즉 HCRF(Hemispherical-Conical Reflectance Factor: 표면 반사)와 BHR(Bi-hemispherical Reflectance: BHR, 알베도)에 해당하는 수학 공식을 산출할 수 있다. 기본 검색 체계는 기존 처리 접근 방식의 대부분이 기구 IFOV의 전체 원뿔 각도에 걸쳐 HDRF가 일정하다고 가정하는 반구-원뿔 관측으로 시작하며, 따라서 HCRF는 추가 보정 없이 HDRF와 수치적으로 동일하다 (식 3).

[0077] {식 3}

$$HCRF = \frac{L_{out}}{E_{in}}, HCRF \approx HDRF \quad (Eq.3)$$

[0078] {식 4}

$$BRF = HDRF \cdot \pi, BHR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (Eq.4)$$

[0079] MISR 대기 상층부(TOA; Top-of-Atmosphere) 방사에서 HDRF와 BHR을 검색하는 알고리즘은 사실상 모든 종류의 표면 BRF 모델과 사실상 독립적이며, 정확도는 주로 사용되는 대기 정보의 정확도에 달려 있다(Martonchik et al.). 대기 조건이 일정하다고 가정하면, BRF 알고리즘은 π 를 곱하여 대체할 수 있다. 반사율은 위 {식 4}에 따라 계산한다.

[0080] (4) 방사측정교정부의 기능

[0081] 본 발명의 통합제어부(360)는, 도 3 및 도 4에서와 같이, 상기 광학모듈에서 수집되는 스펙트럼의 품질을 유지하기 위해, 보정계수를 산출하여 방사측정을 교정하는 방사측정교정부(363)를 구비한다.

[0086] 장기간 무인 현장 측정 중에 경험하는 복잡한 환경은 본 발명의 분광계, 광섬유 및 RotaPrism의 성능을 저하시킨다. 따라서 관찰된 스펙트럼의 품질을 유지하기 위해, 특히 SIF 검색을 위해 정기적인 교정을 수행해야 한다. 이것은 좁은 흡수 밴드의 정확한 위치와 절대 및 방사 조도와 특히 관련이 있다. 광학 설정 및 일반적으로 복잡한 현장 설치에서는 시스템의 방사 측정 교정이 현장에서 수행되어야 하며, 캐노피 위의 타워 상단에서 수행되어야 한다.

[0087] 각 분광계, i 에 대해 교정은 측정 신호 $S_r(\lambda)$ (단위: 카운트/s)을 방사선량 $E(\lambda)$, 방사광도 $L(\lambda)$ 을 교정 계수 $C_{cal-irr}(\lambda)$, $C_{cal-rad}(\lambda)$ 와 관련시킴으로써 결정된다. 교정계수의 계산은 {식 5}에 따른다.

[0088] {식 5}

[0089]
$$E(\lambda) = C_{cal-irr} \cdot S_r(\lambda), L(\lambda) = C_{cal-rad} \cdot S_r(\lambda) \quad (Eq. 5)$$

[0091] (5) SIF산출부의 기능

[0092] 본 발명의 통합제어부(360)는, 도 3 및 도 4에서와 같이, 측정된 캐노피 복사값을 산출하고, 태양 유도 엽록소 형광물질 (SIF; Sun-Induced chlorophyll fluorescence)를 산출하는 SIF산출부(364)를 구비한다.

[0093] SIF 검색을 위해 스펙트럼 피팅 방법인 SFM(-Mazzoni, Meroni et al. 2012)을 사용하였다. SFM은 선택된 스펙트럼 간격에서 반사율(R) 및 SIF(F)의 스펙트럼 변화가 파장(λ)의 함수로 설명될 수 있다. 또한, SFM은 R과 F 모두 λ 와 선형적으로 관련되어 있다고 가정하면, 측정된 캐노피 복사 $L_s(\lambda)$ 는 식 6과 같이 표현할 수 있다.

[0094] {식 6}

[0095]
$$L_{Canopy}(\lambda) = \frac{R_m(\lambda)E_{in}(\lambda)}{\pi} + F_m(\lambda) + error(\lambda), \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2] \quad (Eq. 6)$$

[0096] 여기서 $R_m(\lambda) = \lambda k_1 \times \lambda + b_1$ 이고 $F_m(\lambda) = \lambda k_2 \times \lambda + b_2$ 는 선형 함수이다. k_1, b_1, k_2, b_2 는 R과 F를 설명하는 선형 함수의 계수이다. $E(\lambda)$ 는 측정된 입사 태양 복사 조도로, $Eg1$ 과 $Eg2$ 의 평균 값으로 계산된다. $error(\lambda)$ 는 관측 및 시뮬레이션된 방사광의 모델링 오류이다. λ_1 및 λ_2 는 757nm 및 768 nm로 설정되었다. 우리는 원격 외선 SIF에 초점을 맞췄다. 적색 SIF는 확실히 더 조사할 가치가 있지만 캐노피 재흡수에 의해 신호가 추가로 복잡해진다(Chang 등 2020a). 그 후, SIF는 파장 λ_m 의 선형 함수로 정량화되었다. SIF 계산은 {식 7}에 따른다.

[0097] {식 7}

[0098]
$$SIF = k_2 \times \lambda_m + b_2 \quad (Eq. 7)$$

[0099] 여기서 λ_m 은 입사 태양 복사 조도가 760nm 정도의 넓은 O2A 산소 흡수 대역 내에서 최소값에 도달한 파장이다.

[0100] (6) 식생지수의 산출

[0101] 본 발명의 통합제어부(360)는, 도 3 및 도 4에서와 같이, 산출된 반사율을 적용하여, 식생지수값을 산출하는 식생지수산출부(365)를 구비한다.

[0102] 스펙트럼의 청색, 적색 및 근적외선 파장 영역 간의 표면 반사율 차이는 예를 들어 녹색, 엽록소 함량 또는 잎면적 지수(LAI)를 평가하기 위해 식생 지수를 도출하는 데 사용된다(Porcar-Castell, Tyystjarvi et al. 2014). HR2000+의 스펙트럼은 특정 파장 λ 또는 파장 범위 $\lambda_1: \lambda_2$ 에서 평균 반사율 $R(\lambda)$ 을 계산하는 데 사용된다. 네 가지 식생 지수는 식생지수산출부(365)에서 산출될 수 있다.

[0103] 정규화된 차이 식생 지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)는 캐노피 녹색도를 측정하는 것이다. 강화 식생 지수(EVI; Enhanced Vegetation Index)는 스펙트럼 영역에 다른 가중치를 부여하고 추가적인 청색 파장 대역을 고려하여 구조 및 대기 영향을 보정함으로써 녹색 관측을 강화한다. 광화학적 반사율 지수(PRI; Photochemical Reflectance Index)는 531nm에서의 반사율을 570nm에서의 기준 대역과 함께 사용하여 크산토펴 안료 상호 변환(Magney, Vierling et al. 2016)의 역할을 추정하는 데 사용되었다(식 8~ 식 11).

[0104] {식 8}

$$NDVI = \frac{R_{830:860} - R_{620:670}}{R_{830:860} + R_{620:670}}$$

[0105]

[0106] {식 9}

$$NIRv = NDVI \times R_{830:860}$$

[0107]

[0108] {식 10}

$$EVI = \frac{R_{758} - R_{670}}{R_{758} + 6R_{670} - 7.5R_{470} + 1}$$

[0109]

[0110] {식 11}

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}}$$

[0111]

[0113] 이상에서와 같이 본 발명의 기술적 사상은 바람직한 실시예에서 구체적으로 기술되었으나, 상기한 바람직한 실시예는 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아니다. 이처럼 이 기술 분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 본 발명의 실시예의 결합을 통해 다양한 실시예들이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0114] A: 반사도측정장치

B: 분광계

100: 모터하우징

200: 광학모듈

210: 확산부

220: 광학부

230: 입사부

240: 가이드부

300: 분광계

310: 온습도모듈

320: 팬히터모듈

330: 통신라우터

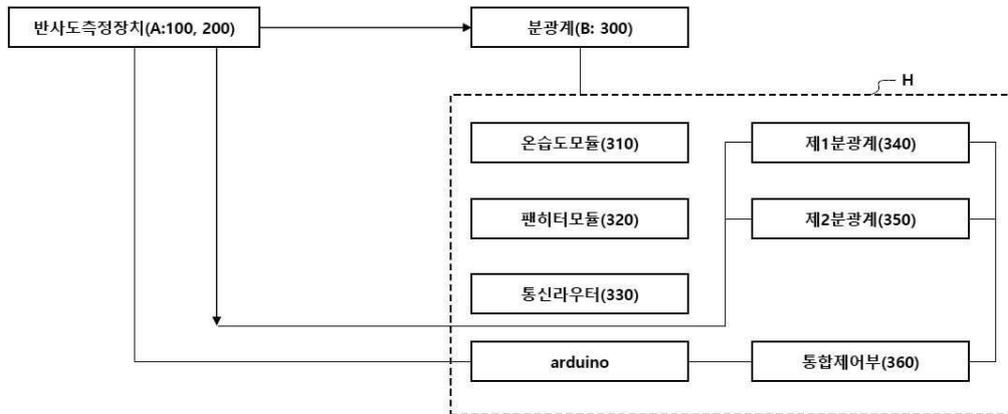
340: 제1분광계

350: 제2분광계

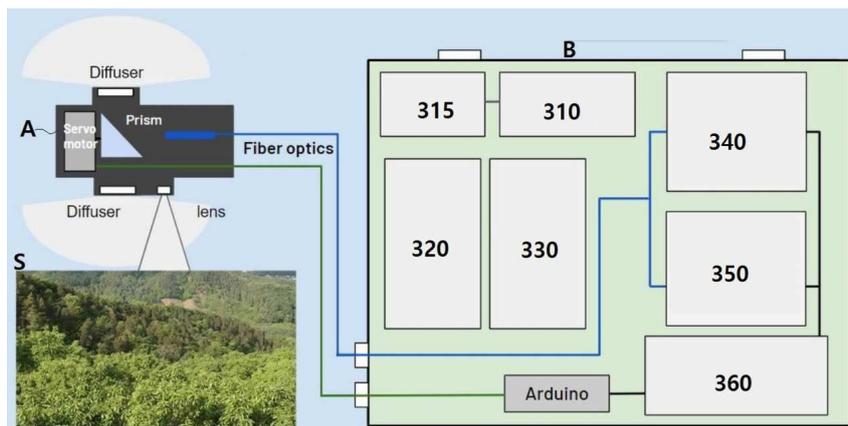
360: 통합제어부

도면

도면1



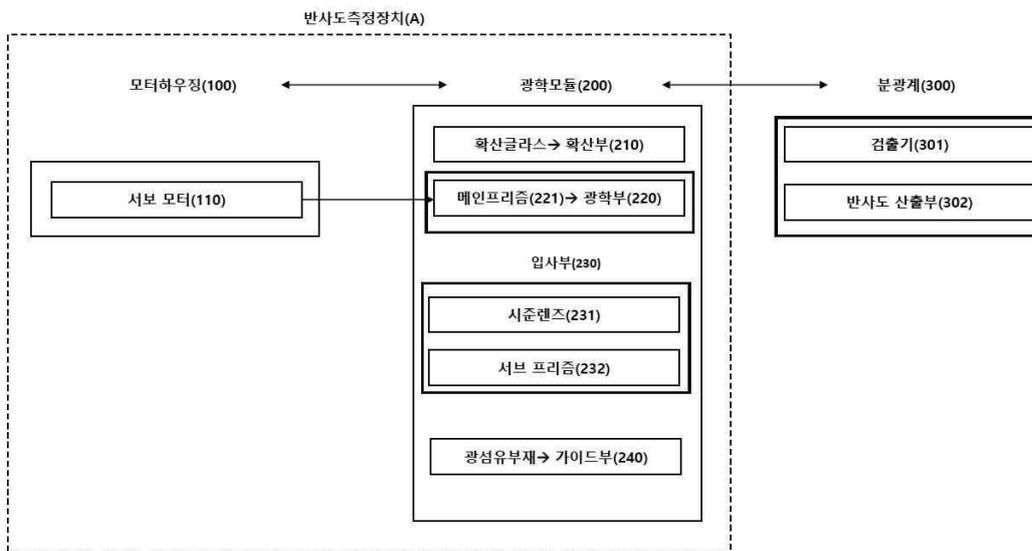
도면2



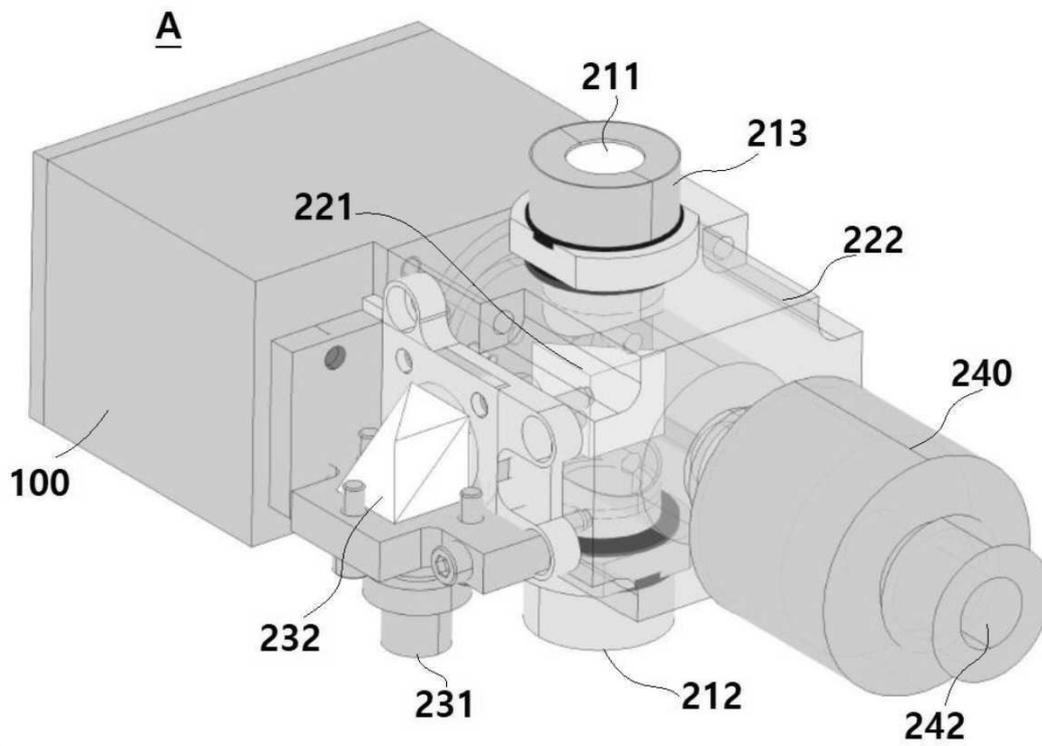
도면3



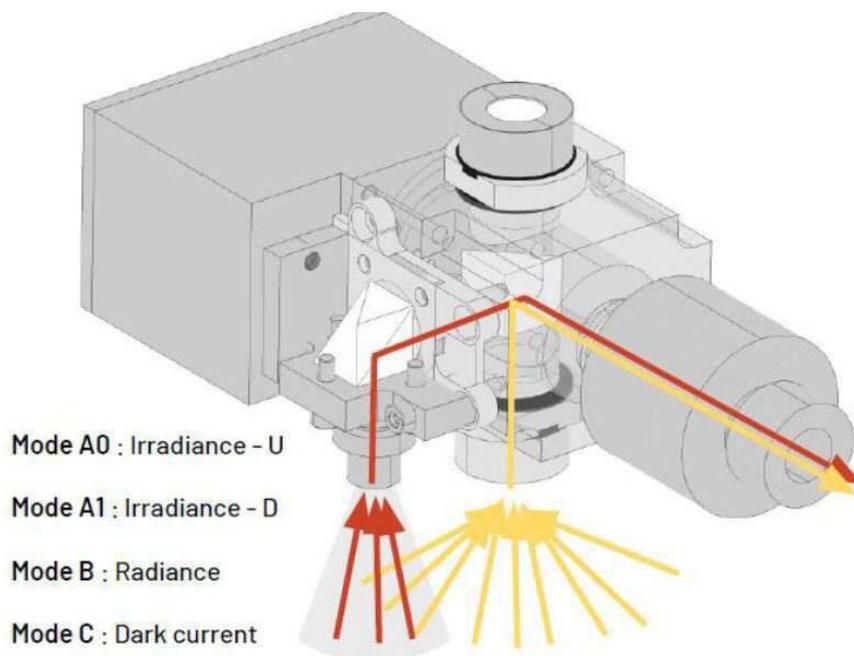
도면4



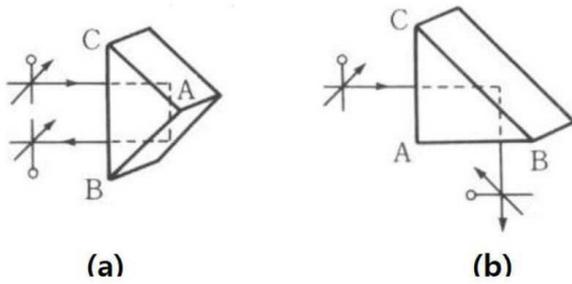
도면5



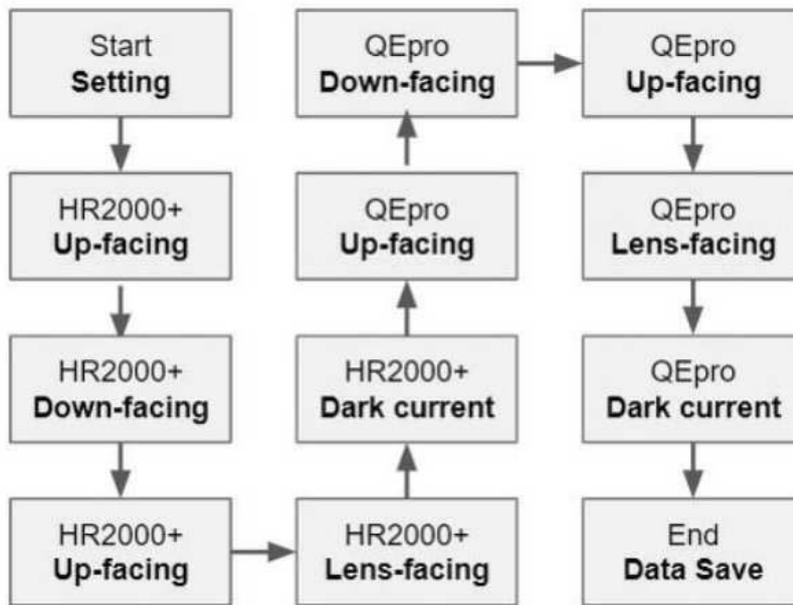
도면6



도면7



도면8



도면9

