(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0050394
(43) 공개일자 2024년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/64 (2006.01) *G01N 21/63* (2006.01)
G01N 21/84 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/6486 (2013.01)
G01N 21/645 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7009436
(22) 출원일자(국제) 2022년09월01일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년03월20일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2022/052237
(87) 국제공개번호 WO 2023/031612
국제공개일자 2023년03월09일
(30) 우선권주장
21194432.7 2021년09월01일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
가딘 엘티디
영국, 옥스퍼드셔 오엑스14 4알와이, 애빙던, 밀톤 파크, 파크 드라이브 99
(72) 발명자
모브쇼비치, 콘스탄틴
영국, 디드콧 올스퍼드셔 오엑스11 7에스티,어퍼 웨이 펄롱 7
오스틸로우, 리차드
영국, 피트스톤 버킹엄셔 엘유7 9지이, 튜 펄롱 18
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
신동호

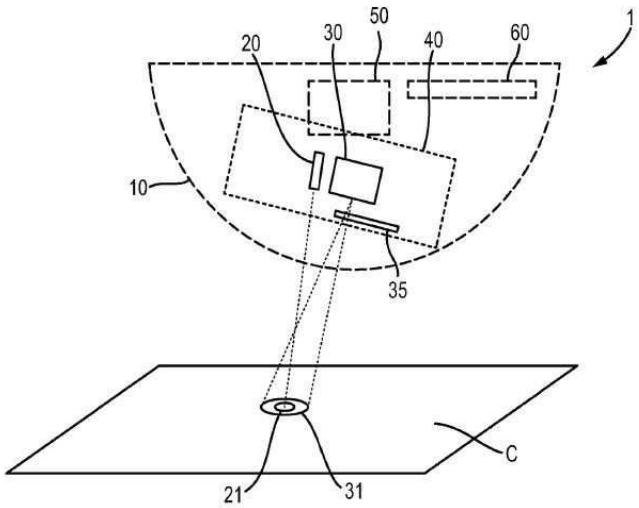
전체 청구항 수 : 총 92 항

(54) 발명의 명칭 **엽록소 형광 측정을 위한 시스템 및 방법**

(57) 요 약

엽록소 형광을 측정하는 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 영역(area)에 광을 조사하기 위해 실질적으로 시준되거나 수렴적으로 초점이 맞춰진 광을 방출하도록 구성된 적어도 하나의 광원; 상기 광원이 서로 다른 복수의 영역에 광을 조사할 수 있도록 상기 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향(direct)하도록 구성된 액추에이터; 및 광이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 감지하도록 구성된 광학 센서를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 2021/635 (2013.01)
G01N 2021/6463 (2013.01)
G01N 2021/8466 (2013.01)
(72) 발명자
티치아렐리, 파브리지오
영국, 윈체스터 햄프셔 에스오23 0에이치와이, 첼시 테라스 3
탈루크다르, 수만타
영국, 치펀햄 윌트셔 에스엔15 3지에이, 웨빙톤 로드 4

명 세 서

청구범위

청구항 1

영역(area)에 광을 조사하기 위해 실질적으로 시준되거나 수렴적으로 초점이 맞춰진 광을 방출하도록 구성된 적어도 하나의 광원;

상기 광원이 서로 다른 복수의 영역에 광을 조사할 수 있도록 상기 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향(direct)하도록 구성된 액추에이터; 및

광이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 감지하도록 구성된 광학 센서를 포함하는, 엽록소 형광 측정 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

여기서 상기 액추에이터는 광원으로부터의 광을 지향하기 위해 광원을 이동시키도록 구성되고, 및/또는 여기서 상기 액추에이터는 광원으로부터의 광을 지향하기 위해 상기 광원에 대해 거울과 같은 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성된, 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

빛이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 광학 센서가 감지할 수 있도록 광학 센서를 이동시키거나 및/또는 광학 센서에 대해 거울과 같은 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성된 액추에이터를 포함하는, 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

광학 센서를 이동시키고/시키거나 광학 센서에 대해 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성된 액추에이터는 광원으로부터의 광을 지향하도록 구성된 동일한 액추에이터인, 시스템.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 광학 센서는 적어도 하나의 광원에 의한 조사를 위해 접근 가능한 전체 공간보다 작은 시야를 가지며, 상기 광원에 의하여 조사를 위해 접근 가능한 전체 공간의 바람직하게는 10% 이하, 더욱 바람직하게는 5% 이하, 더욱 바람직하게는 1% 이하, 가장 바람직하게는 0.5% 이하인, 시스템.

청구항 6

제3항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 $400deg^2$ 이하, 바람직하게는 $200deg^2$ 이하, 더 바람직하게는 $50deg^2$ 이하, 가장 바람직하게는 $25deg^2$ 이하의 시야를 갖는, 시스템.

청구항 7

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광원과 광학 센서는 서로에 대해 고정적으로 장착되는, 시스템.

청구항 8

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 카메라와 같은 이미징 센서를 포함하는, 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

측정 이미지 내에서, 상기 적어도 하나의 광원으로부터의 광이 조사되는 영역을 포함하는 타겟 영역과 적어도 하나의 배경 영역을 구분하는 컨트롤러를 더 포함하고, 상기 컨트롤러는 배경 영역에서 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역에서 검출된 강도를 조정하도록 더 구성되는, 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 배경 영역은 타겟 영역 외부의 측정 이미지의 실질적으로 전체를 포함하는, 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 컨트롤러는 바람직하게는 측정 이미지 전체에 걸쳐 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역 외부의 측정 이미지 부분을 배경 영역으로 선택하도록 구성되는, 시스템.

청구항 12

제9항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 컨트롤러는 배경 영역 전체에 걸쳐 평균 배경 강도를 계산하고 타겟 영역에서 감지된 강도에서 상기 평균 배경 강도를 뺌(subtracting)으로써, 배경 영역에서 감지된 강도에 기초하여 타겟 영역에서 감지된 강도를 조정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 13

제8항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 레이저를 포함하고, 이미징 센서의 측정 이미지에서 타겟 영역을 식별하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하고, 상기 타겟 영역은 레이저가 조사되는 영역의 일부이고, 여기서 바람직하게 상기 레이저는 점형 영역(spot-shaped area)에 광을 조사하도록 구성되고, 상기 타겟 영역은 조사된 점형 영역의 중앙 부분인, 시스템.

청구항 14

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 비-이미징 광학 센서(non-imaging optical sensor)이고, 빛이 조사되는 영역을 이미지화하는 이미징 광학 센서(imaging optical sensor)를 더 포함하고, 바람직하게는 상기 이미징 광학 센서는 비-이미징 광학 센서보다 더 넓은 시야를 갖는, 시스템.

청구항 15

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원으로부터 반사된 빛을 차단하고 광학 센서가 엽록소 형광으로 인한 빛을 감지할 수 있도록 배열된 광학 필터를 더 포함하는, 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 광학 필터는 바람직하게는 대략 650nm 이하의 파장을 갖는 광을 차단하도록 구성된 롱-패스 필터(long-pass filter), 또는 바람직하게는 650nm 내지 750nm 범위 외부, 바람직하게는 650nm 내지 700nm 또는 700nm 내지 750nm 범위 외부의 광을 차단하도록 구성된 대역 통과 필터(band-pass filter)인, 시스템.

청구항 17

제15항 또는 제16항에 있어서,

상기 광학 필터는 간섭 필터인. 시스템.

청구항 18

제15항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상기 적어도 하나의 광원으로부터 반사된 빛을 선택적으로 차단하기 위해 상기 광학 센서에 충돌하는 빛의 광학 경로에 대해 이동 가능하며, 바람직하게는 상기 광학 필터는 바람직하게는 다수의 서로 다른 필터를 포함하는 필터 휠(filter wheel)에 위치하는, 시스템.

청구항 19

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서의 시야 내의 조사 영역의 위치, 크기 및/또는 형상에 기초하여 타겟 거리를 결정하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하는. 시스템.

청구항 20

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 액추에이터는 상기 적어도 하나의 광원이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 2개의 자유도를 갖는 것을 특징으로 하는. 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 액추에이터는 상기 적어도 하나의 광원이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 가변 요(yaw) 및 피치(pitch)를 포함하는. 시스템.

청구항 22

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원 및 광학 센서는 적어도 하나의 광원 및 광학 센서가 작동할 수 있는 투명 창을 포함하는 밀폐형 하우징 내에 장착되는, 시스템.

청구항 23

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 레이저, 바람직하게는 조정 가능한 출력 레이저를 포함하는, 시스템.

청구항 24

제23항에 있어서,

레이저는 점형 영역(spot-shaped area)에 빛을 조사하도록 구성되는, 시스템.

청구항 25

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 하나 이상의 LED를 포함하는, 시스템.

청구항 26

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치(focusing optics)를 포함하는, 시스템.

청구항 27

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

각각 실질적으로 시준되거나 수렴하여 초점이 맞춰진 광을 방출하도록 구성되고 광으로 공통 영역을 조사하도록 배열된 복수의 광원을 포함하는, 시스템.

청구항 28

제27항에 있어서,

상기 복수의 광원 중 제1 광원은 레이저, 바람직하게는 조정 가능한 전력 레이저(adjustable power laser)를 포함하고, 상기 복수의 광원 중 제2 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하

거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치를 포함하는, 시스템.

청구항 29

제28항에 있어서,

복수의 광원 중 제3의 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치를 포함하는, 시스템.

청구항 30

제28항 또는 제29항에 있어서,

상기 레이저는 조정 가능한 전력 레이저이고, 타겟 거리에 기초하여 및/또는 제2 광원의 전력 및/또는 제2 광원의 빔 발산에 기초하여 레이저의 전력을 조정하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하는, 시스템.

청구항 31

제27항 내지 제30항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 광원은 광학 센서 주위에 링 어레이로 배열되는, 시스템.

청구항 32

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 광원을 포함하며, 복수의 광원 중 적어도 2개는 서로 다른 파장 또는 파장 범위를 갖는 광을 방출하는, 시스템.

청구항 33

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 또는 각각의 광원은 50 cm^2 이하, 바람직하게는 25 cm^2 이하, 더 바람직하게는 5 cm^2 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1 cm^2 이하, 가장 바람직하게는 5 mm^2 이하의 영역, 0.1m 내지 20m 범위, 바람직하게는 0.1m 내지 10m 범위, 보다 바람직하게는 0.1m 내지 5m 범위, 가장 바람직하게는 0.5m 내지 1m 범위의 적어도 하나의 작동 거리를 조사하도록 구성되는, 시스템.

청구항 34

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광원은 10° 이하, 바람직하게는 5° 이하, 더 바람직하게는 2° 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1° 이하, 가장 바람직하게는 0.1° 이하의 빔 발산을 갖는 실질적으로 시준된 광을 방출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 35

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

a) 상기 적어도 하나의 광원을 이용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계;

b) 광학 센서를 사용하여 제1영역에서 엽록소 형광을 감지하는 단계;

c) 액추에이터를 사용하여 적어도 하나의 광원으로부터 빛의 방향을 바꾸는 단계;

d) 적어도 하나의 광원을 이용하여 제2 영역에 광을 조사하는 단계;및

e) 광학 센서를 사용하여 제2영역에서 엽록소 형광을 감지하는 단계로 구성된 컨트롤러를 더 포함하는, 시스템.

청구항 36

제35항에 있어서,

상기 컨트롤러는 광원을 사용하여 서로 다른 영역에 빛을 연속적으로 조사하고 측정 위치의 2차원 배열에 걸쳐 상기 영역으로부터 엽록소 형광을 검출하도록 구성되는, 시스템.

청구항 37

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 영역에 서로 다른 강도 및/또는 지속 시간을 갖는 복수의 광 펄스를 조사하도록 구성된 컨트롤러를 포함하는, 시스템.

청구항 38

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

빔 스플리터 또는 광 커플러를 더 포함하고, 상기 광원은 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통하여 제1 광학 경로를 따라 상기 영역을 조사하도록 배열되고, 상기 광학 센서는 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통하여 상기 제1 광학 경로와 다른 제2 광학 경로를 따라 상기 영역으로부터 방출되는 엽록소 형광을 수신하도록 배열되고, 여기서 광원과 광학 센서는 광 경로가 빔 스플리터 또는 광 커플러와 상기 영역 사이에서 실질적으로 동축이 되도록 배열되는, 시스템.

청구항 39

제38항에 있어서,

제15항 내지 제18항 중 어느 한 항에 종속되는 경우,

상기 광학 필터는 빔 스플리터 또는 광학 커플러와 광학 센서 사이에 배열되는, 시스템.

청구항 40

제38항 또는 제39항에 있어서,

빔 스플리터를 포함하고, 상기 빔 스플리터와 조사될 영역 사이에 집속 광학 장치를 더 포함하고, 상기 집속 광학 장치는 광원으로부터의 광을 실질적으로 시준하거나 수렴적으로 포커싱하고, 상기 영역으로부터의 엽록소 형광을 광학 센서를 향해 시준하거나 수렴적으로 포커싱하도록 구성되는, 시스템.

청구항 41

제38항 또는 제39항에 있어서,

광 커플러를 포함하고, 상기 광원은 제1 광섬유의 제1 단부 내로 광을 방출하도록 구성되고, 상기 광학 센서는

제2 광섬유의 제1 단부로부터 광을 수신하도록 구성되고,

상기 제1 광섬유와 제2 광섬유는 광 커플러에 의해 서로 연결되어, 제1 광섬유 또는 제2 광섬유의 제2 단부는 광원으로부터 광을 방출하여 상기 영역을 조사하고, 상기 제2 단부는 상기 영역으로부터 엽록소 형광을 수용하며, 바람직하게는 액추에이터는 제1 광섬유 또는 제2 광섬유 중 어느 하나의 제2 단부를 이동시킴으로써 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향시키도록 구성되는, 시스템.

청구항 42

제38항 내지 제41항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 비-이미징 광학 센서인 시스템.

청구항 43

선행하는 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

각 영역에 빛을 조사하도록 적어도 하나의 광원을 제어하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하고, 따라서 제1 측정 단계에서, 광은 낮은 평균 강도를 갖는 하나 이상의 광 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2측정 단계에서, 광은 함께 높은 평균 강도를 갖는 복수의 개별적인 서로 다른 펄스 유형을 정의하기 위해 강도가 변조되는, 시스템.

청구항 44

제43항에 있어서,

상기 컨트롤러는 각 영역에서 조사된 광의 강도가 각 펄스 유형 사이에서 실질적으로 0으로 돌아가도록 적어도 하나의 광원을 제어하는, 시스템.

청구항 45

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서,

각 영역에 빛을 조사하도록 적어도 하나의 광원을 제어하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하고, 제1 측정 단계(measurement phase)에서, 상기 광은 제1 측정 단계의 제1 부분을 구성하고 낮은 평균 강도를 갖는 광의 하나 이상의 개별 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2측정 단계에서, 상기 광은 제1 측정 단계의 제1 부분보다 큰 제2 측정 단계의 제2 비율을 구성하고 높은 평균 강도를 갖는 복수의 개별 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되는, 시스템.

청구항 46

제45항에 있어서,

상기 제1 측정 단계의 펄스는 제1 주파수를 갖고, 상기 제2 측정 단계의 펄스는 상기 제1 주파수보다 높은 제2 주파수를 갖고, 바람직하게는 제1 및 제2 측정 단계의 펄스는 동일한 강도 및 지속 기간을 갖는, 시스템.

청구항 47

a) 실질적으로 시준되거나 수렴적으로 집속된 광을 방출하도록 구성된 적어도 하나의 광원을 사용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계;

b) 광학 센서를 이용하여 제1영역에서 엽록소 형광을 검출하는 단계;

c) 액추에이터를 사용하여 적어도 하나의 광원으로부터의 광의 방향을 바꾸는 단계(redirecting);

d) 상기 적어도 하나의 광원을 이용하여 제2 영역에 광을 조사하는 단계; 및

e) 광학 센서를 이용하여 제2 영역에서 엽록소 형광을 검출하는 단계를 포함하는, 염록소 형광을 측정하는 방법.

청구항 48

제47항에 있어서,

상기 제1 영역과 제2 영역에 광으로 조사하는 단계는 상기 영역 각각을 서로 다른 강도 및/또는 지속 시간의 복수의 광 펄스로 조사하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 49

제47항 또는 제48항에 있어서,

빛이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 광학 센서가 감지할 수 있도록 광학 센서를 이동시키는 단계 및/또는 액추에이터를 사용하여 광학 센서에 대해 하나 이상의 광학 요소를 이동시키는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 50

제49항에 있어서,

광학 센서를 이동시키고 및/또는 광학 센서에 대해 하나 이상의 광학 요소를 이동시키는 데 사용되는 액추에이터는 적어도 하나의 광원으로부터의 광의 방향을 바꾸는 데 사용되는 것과 동일한 액추에이터인, 방법.

청구항 51

제49항 또는 제50항에 있어서,

광학 센서는 바람직하게는 광원에 의한 조사를 위해 접근 가능한 전체 공간의 10% 이하, 더욱 바람직하게는 5% 이하, 더욱 바람직하게는 1% 이하, 가장 바람직하게는 0.5% 이하인, 적어도 하나의 광원에 의한 조사를 위해 접근 가능한 전체 공간보다 작은 시야를 갖는, 방법.

청구항 52

제49항 내지 제51항 중 어느 한 항에 있어서,

광학 센서는 $400deg^2$ 이하, 바람직하게는 $200deg^2$ 이하, 보다 바람직하게는 $50deg^2$ 이하, 가장 바람직하게는 $25deg^2$ 이하의 시야를 갖는, 방법.

청구항 53

제47항 내지 제52항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원과 광학 센서는 서로에 대해 고정식으로 장착되는 방법.

청구항 54

제47항 내지 제53항 중 어느 한 항에 있어서,

광학 센서는 카메라와 같은 이미징 센서를 포함하는 방법.

청구항 55

제54항에 있어서,

엽록소 형광을 검출하는 단계는

이미징 센서로부터의 측정 이미지에서 상기 적어도 하나의 광원으로부터 빛이 조사된 영역을 포함하는 타겟 영역과 적어도 하나의 배경 영역을 식별하는 단계, 및 상기 배경 영역에서 감지된 강도를 기반으로 타겟 영역에서 감지된 강도를 조정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 56

제55항에 있어서,

상기 배경 영역은 타겟 영역 외부의 측정 이미지 전체를 실질적으로 포함하는 방법.

청구항 57

제55항에 있어서,

적어도 하나의 배경 영역을 식별하는 단계는 바람직하게는 측정 이미지에 걸쳐 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역 외부의 측정 이미지의 일부를 선택하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 58

제55항 내지 제57항 중 어느 한 항에 있어서,

배경 영역에서 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역에서 검출된 강도를 조정하는 단계는 배경 영역에 걸쳐 평균 배경 강도를 계산하는 단계 및 타겟 영역에서 검출된 강도로부터 평균 배경 강도를 빼는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 59

제54항 내지 제58항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 레이저를 포함하고, 상기 이미징 센서의 측정 이미지에서 타겟 영역을 식별하는 단계를 더 포함하고, 상기 타겟 영역은 레이저에 의해 조사되는 영역의 일부이고, 바람직하게는 레이저는 점형 영역에 광을 조사하도록 구성되고, 상기 타겟 영역은 조사되는 점형 영역의 중앙 부분인, 방법.

청구항 60

제47항 내지 제53항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 비-이미징 광학 센서고, 광이 조사된 영역을 이미징 광학 센서로 촬영하는 단계를 더 포함하고, 바람직하게는 상기 이미징 광학 센서는 비-이미징 광학 센서보다 더 넓은 시야를 갖는, 방법.

청구항 61

제47항 내지 제54항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 엽록소 형광을 검출하는 단계는 상기 적어도 하나의 광원으로부터 반사되는 빛을 차단하기 위해 상기 타겟 영역과 상기 광학 센서 사이의 빛의 광 경로에 광학 필터를 위치시킨 상태에서 수행되는, 방법.

청구항 62

제61항에 있어서,

상기 광학 필터는 바람직하게는 대략 650 nm 이하의 파장을 갖는 광을 차단하도록 구성된 롱-패스 필터(long-pass filter), 또는 바람직하게는 650 nm 내지 750 nm 범위 밖의 광을 차단하도록 구성된 대역 통과 필터를 포함하는, 방법.

청구항 63

제61항 또는 제62항에 있어서,

상기 광학 필터는 간섭 필터인 방법.

청구항 64

제61항 내지 제63항 중 어느 한 항에 있어서,

바람직하게는 필터 휠 상에서 광학 필터를 이동시킴으로써 광학 경로에 대해 광학 필터를 선택적으로 이동시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 65

제47항 내지 제64항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서의 시야 내에서 상기 조사된 영역의 위치, 크기 및/또는 형상에 기초하여 상기 조사된 제1 영역 및/또는 조사된 제2 영역까지의 거리를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 66

제47항 내지 제65항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 액추에이터는 상기 적어도 하나의 광원이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 2개의 자유도를 포함하는 방법.

청구항 67

제66항에 있어서,

상기 액추에이터는 적어도 하나의 광원이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 가변 요 및 피치를 포함하는 방법.

청구항 68

제47항 내지 제67항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원 및 광학 센서는 적어도 하나의 광원 및 광학 센서가 작동할 수 있는 투명 창을 포함하는 밀폐형 하우징 내에 장착되는 방법.

청구항 69

제47항 내지 제68항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 레이저, 바람직하게는 조정 가능한 전력 레이저를 포함하는 방법.

청구항 70

제69항에 있어서,

상기 레이저는 점형 영역(spot-shaped area)에 빛을 조사하도록 구성되는 방법.

청구항 71

제47항 내지 제69항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 하나 이상의 LED를 포함하는 방법.

청구항 72

제47항 내지 제71항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치(focusing optics)를 포함하는 방법.

청구항 73

제47항 내지 제72항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 영역은 복수의 광원으로부터의 광으로 조명되고, 각각의 광원은 광으로 공통 영역을 조사하기 위해 실질적으로 시준되거나 수렴적으로 초점이 맞춰진 광을 방출하는 방법.

청구항 74

제73항에 있어서,

상기 복수의 광원 중 제1 광원은 레이저, 바람직하게는 조정 가능한 전력 레이저(adjustable power laser)를 포함하고, 상기 복수의 광원 중 제2 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치를 포함하는, 방법.

청구항 75

제74항에 있어서,

복수의 광원 중 제3의 광원은 발산 광원 및 상기 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치를 포함하는, 방법.

청구항 76

제74항 내지 제75항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저는 조정 가능한 전력 레이저이고, 타겟 거리에 기초하여 및/또는 제2 광원의 전력 및/또는 제2 광원의 빔 발산에 기초하여 레이저의 전력을 조정하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하는, 방법

청구항 77

제73항 내지 제76항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 광원은 광학 센서 주위에 링 어레이로 배열되는 방법.

청구항 78

제73항 내지 제77항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 광원 중 적어도 2개는 서로 다른 파장 또는 파장 범위를 갖는 광을 방출하는 것인 방법.

청구항 79

제47항 내지 제78항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 또는 각각의 광원은 50 cm^2 이하, 바람직하게는 25 cm^2 이하, 더 바람직하게는 5 cm^2 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1 cm^2 이하, 가장 바람직하게는 5 mm^2 이하의 영역, 0.1m 내지 20m 범위, 바람직하게는 0.1m 내지 10m 범위, 보다 바람직하게는 0.1m 내지 5m 범위, 가장 바람직하게는 0.5m 내지 1m 범위의 적어도 하나의 작동 거리를 조사하도록 구성되는, 방법.

청구항 80

제47항 내지 제79항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광원은 10° 이하, 바람직하게는 5° 이하, 더 바람직하게는 2° 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1° 이하, 가장 바람직하게는 0.1° 이하의 빔 발산을 갖는 실질적으로 시준된 광을 방출하도록 구성되는, 방법.

청구항 81

제47항 내지 제80항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 광원을 이용하여 서로 다른 영역에 빛을 연속적으로(successively) 조사하는 단계 및 측정 위치의 2차원 배열에 걸쳐 상기 영역으로부터 엽록소 형광을 검출하는 단계.

청구항 82

제47항 내지 제81항 중 어느 한 항에 있어서,

빔 스플리터 또는 광 커플러를 더 포함하고, 상기 광원은 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통하여 제1 광학 경로를 따라 상기 영역을 조사하도록 배열되고, 상기 광학 센서는 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통하여 상기 제1 광학 경로와 다른 제2 광학 경로를 따라 상기 영역으로부터 방출되는 엽록소 형광을 수신하도록 배열되고, 여기서 광원과 광학 센서는 광 경로가 빔 스플리터 또는 광 커플러와 상기 영역 사이에서 실질적으로 동

축이 되도록 배열되는, 방법.

청구항 83

제82항에 있어서,

제61항 내지 제64항 중 어느 한 항에 종속되는 경우,

상기 광학 필터는 빔 스플리터 또는 광학 커플러와 광학 센서 사이에 배열되는, 방법.

청구항 84

제82항 또는 제83항에 있어서,

빔 스플리터를 포함하고, 상기 빔 스플리터와 조사될 영역 사이에 집속 광학 장치를 더 포함하고, 상기 집속 광학 장치는 광원으로부터의 광을 실질적으로 시준하거나 수렴적으로 포커싱하고, 상기 영역으로부터의 엽록소 형광을 광학 센서를 향해 시준하거나 수렴적으로 포커싱하도록 구성되는, 방법.

청구항 85

제82항 또는 제83항에 있어서,

광 커플러를 포함하고, 상기 광원은 제1 광섬유의 제1 단부 내로 광을 방출하도록 구성되고, 상기 광학 센서는 제2 광섬유의 제1 단부로부터 광을 수신하도록 구성되고,

상기 제1 광섬유와 제2 광섬유는 광 커플러에 의해 서로 연결되어, 제1 광섬유 또는 제2 광섬유의 제2 단부는 광원으로부터 광을 방출하여 상기 영역을 조사하고, 상기 제2 단부는 상기 영역으로부터 엽록소 형광을 수용하며, 바람직하게는 액추에이터는 제1 광섬유 또는 제2 광섬유 중 어느 하나의 제2 단부를 이동시킴으로써 광원으로부터의 광의 방향을 변경하도록 구성되는, 방법.

.

청구항 86

제82항 내지 제85항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 센서는 비-이미징 광학 센서인 방법.

청구항 87

제47항 내지 제86항 중 어느 한 항에 있어서,

하나 이상의 추가 영역에 대해 단계 c), d) 및 e)를 반복하는 단계 및 시간에 따른 검출된 엽록소 형광의 변화를 모니터링하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 88

제47항 내지 제87항 중 어느 한 항에 있어서,

검출된 엽록소 형광 또는 시간 경과에 따른 검출된 엽록소 형광의 변화를 기초로, 조명, 온도, 물, 습도, CO_2 또는 O_2 농도, 토양 영양분 농도 및 토양 pH 중 하나 이상에 대한 변경을 권장하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

청구항 89

제47항 내지 제88항 중 어느 한 항에 있어서,

각 영역에 빛을 조사하는 단계를 포함하고,

제1 측정 단계에서, 광은 낮은 평균 강도를 갖는 하나 이상의 광 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2측정 단계에서, 광은 함께 높은 평균 강도를 갖는 복수의 개별적인 서로 다른 펄스 유형을 정의하기 위해 강도가 변조되는, 방법.

청구항 90

제89항에 있어서,

각 영역에서 조사된 광의 강도는 각 펄스 유형 사이에서 실질적으로 0으로 되돌아가는 방법.

청구항 91

제47항 내지 제88항 중 어느 한 항에 있어서,

각 영역에 빛을 조사하는 단계를 포함하고, 제1 측정 단계에서, 상기 광은 제1 측정 단계의 제1 부분을 구성하고 낮은 평균 강도를 갖는 광의 하나 이상의 개별 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2측정 단계에서, 상기 광은 제1 측정 단계의 제1 부분보다 큰 제2 측정 단계의 제2 비율을 구성하고 높은 평균 강도를 갖는 복수의 개별 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되는, 방법.

청구항 92

제91항에 있어서,

상기 제1 측정 단계의 펄스는 제1 주파수를 갖고, 상기 제2 측정 단계의 펄스는 상기 제1 주파수보다 높은 제2 주파수를 갖고, 바람직하게는 제1 및 제2 측정 단계의 펄스는 동일한 강도 및 지속 기간을 갖는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 엽록소 형광(chlorophyll fluorescence)을 측정하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 광학 분석을 사용하여 타겟 영역에 걸쳐 위치한 식물의 엽록소 형광을 측정하기 위해 상업용 온실, 수직 농장 또는 야외 농장에서 사용하기에 적합한 설치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 식물 성장에서 엽록소 형광은 흡수된 빛이 탈여기 동안 식물의 엽록소 분자에 의해 다시 방출되는 현상이다. 식물에 흡수된 빛은 일반적으로 전자 전달, 열 또는 형광에 기여할 수 있으며, 이들의 비율은 환경 요인 및 식물 생리와 관련된 요인에 따라 달라질 수 있다. 엽록소 형광 측정은 광합성(포토시스템을 통한 전자 전달)을 통한 식물의 CO_2 동화 속도, 생물적 또는 비생물적 스트레스에 대한 인식, 식물의 성장 효율에 미치는 환경 변화(예를 들어 온도, 습도, 관개, 이산화탄소 농도) 등 식물 성장의 여러 측면에 대한 지표로 사용될 수 있다. 이처럼 엽록소 형광은 농작물의 수확량, 영양, 품질을 평가하는 데 유용한 기술이다.

[0003] 엽록소 형광은 일반적으로 식물의 광화학 과정을 포화시키기 위해 어둠에 적응된 식물을 짧은 고강도 섬광에 먼저 노출시켜 평가한다. 이를 통해 형광 수준이 최대에 도달할 수 있다. 그런 다음 형광은 어둠에 적응된 상태에서 최소 수준으로 돌아간다. 이어서, 활성 광선이 적용되고 포화 펄스가 다시 적용된다. 형광은 펄스에 반응하여 새로운 빛 적응 최대값으로 상승한 후 빛 적응 최소값으로 떨어진다. 이러한 형광 수준의 비율은 식물의 효율성, 즉 유용한 전자 전달에 기여하는 입사광의 비율을 포함하여 식물의 상태에 대한 다양한 지표를 제공한다.

[0004] 엽록소 형광 분석의 기본 이론에 대한 설명은 E. Murchie 및 T. Lawson이 저술한 "Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications"에서 확인할 수 있다(Journal of experimental botany, 64 13 (2013): 3983-98, DOI:10.1093/jxb/ert208).

[0005] 상업용 식물 성장에서는 식물 베드(plant bed)를 빛으로 덮고 식물의 형광을 광학적으로 모니터링하는 것이 알려져 있다. 근접 측정 기술도 알려져 있는데, 이를 통해 빛의 펄스와 후속 형광이 관심 영역에 가깝게 고정되거나 고정된 광섬유를 통해 전달된다. 이들 기술 모두는 극복하는 것이 바람직한 문제를 안고 있다. 특히 전자 기술은 규칙적인 밝은 빛 펄스가 필요하기 때문에 에너지를 많이 요구하며 일반적으로 형광에 대한 민감도가 상대적으로 낮다. 반면, 근접 기술은 일반적으로 수동 작업이 필요하며 측정 중인 플랜트를 손상시킬 수 있다. 본 발명의 목적은 공지된 엽록소 측정 시스템과 관련된 위에서 언급한 단점을 겪지 않는 상업적 환경에서 엽록소 형광 분석을 수행하기 위한 시스템을 제공하는 것이다.

발명의 내용

[0006] 본 발명의 제1측면에 따르면, 다음을 포함하는 엽록소 형광 측정 시스템(system for measuring chlorophyll fluorescence)이 제공된다: 영역(area)에 광을 조사하기 위해, 실질적으로 시준되거나 수렴되도록(convergently) 초점이 맞춰진 광을 방출하도록 구성된 적어도 하나의 광원(light source); 상기 광원이 서로 다른 복수의 영역에 광을 조사할 수 있도록, 상기 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향(direct)시키도록 구성된 액추에이터(actuator); 및 빛이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 감지하도록 구성된 광학 센서.

[0007] 이 시스템은 식물 작물 캐노피의 작은 영역을 조사하기 위해 실질적으로 시준되거나 수렴하여 초점이 맞춰진 빛을 방출하는 작동 광원(actuated light source)을 사용한다. 상기 시스템은 일반적으로 작물 위에 장착되며 측정 대상 위치에 해당하는 작은 영역의 캐노피에 조사된다. 한 번에 캐노피의 작은 영역을 조사하면 캐노피를 광펄스로 덮는(bathe) 시스템보다 훨씬 낮은 전체 에너지 비용으로 포화 및 측정 펄스에 대한 광도 임계값에 도달할 수 있다. 이 지향된 광원(directed light source)을 작동(Actuating)하면 작물 캐노피의 더 넓은 영역에 걸쳐 관심 영역을 측정할 수 있으므로 작물 성장에 대한 대규모 그림을 계속 생성할 수 있다. 또한 광원을 작동하여 수직 축에서 벗어난 타겟 영역, 즉 일부 수평 구성 요소를 조명하면 캐노피 아래 타겟을 똑같이 정확하게 측정할 수 있다. 이 타겟 측정 시스템은 식물과의 물리적 접촉 없이, 수동 작업자가 필요 없이 구현될 수 있으므로 알려진 식물 형광 측정 시스템에 비해 상당한 이점을 제공한다.

[0008] 상기 시스템은 광원의 정확한 시준을 필요로 하지 않으며 실제로 상업적으로 이용 가능한 레이저는 빔 확산(beam divergence)의 일정 각도를 갖는다는 점을 이해해야 한다. "실질적으로 시준된"이라는 용어는 빔 확산이 10° 이하인 광원을 포함하는 것으로 이해될 것이다. 물론 더 타이트하게 시준된 광이 바람직할 것이며, 실제로 5° 이하, 더 바람직하게는 2° 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1° 이하, 가장 바람직하게는 0.1° 또는 이하의 빔 확산을 갖는 것이 바람직할 것이다. 상업적으로 이용 가능한 레이저는 일반적으로 0.1° 보다 훨씬 작은 빔 확산을 가지지만, 아래에 더 설명되는 것처럼 현재 시스템은 훨씬 더 느슨하게 시준된 광을 갖는 광원으로 구현될 수 있다.

[0009] 위에서 언급한 바와 같이, 상기 시스템은 광원이 복수의 서로 다른 영역에 광을 조사할 수 있도록 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향시키도록 구성된 액추에이터를 포함한다. 이는 일반적으로 광원으로부터의 광을 지향시키기 위해 광원을 이동시키도록 구성된 액추에이터를 포함할 수 있다. 즉, 광원 전체를 이동시킴으로써 해당 광원으로부터 빛이 조사되는 영역을 변화시키는 것이 가능하다. 대안적으로 또는 추가적으로, 액추에이터는 광원으로부터의 광을 지향시키기 위해 광원에 대해 거울과 같은 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 스캐닝 미러(scanning mirror) 또는 광-스티어링 마이크로 전자기계 시스템(light-steering microelectromechanical system)을 사용하면 광원의 이동 없이 광원으로부터의 광이 서로 다른 영역 사이를 향하게 할 수 있다.

[0010] 시스템은 광학 센서가 빛이 조사된 각 영역으로부터 엽록소 형광을 검출할 수 있도록 광학 센서를 이동시키도록 및/또는 광학 센서에 대해 거울과 같은 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성된 액추에이터를 포함하는 것이 특히 바람직하다. 이는 광학 센서가 측정 지점에 직접 조준될 수 있게 하고 또한 아래에 더 자세히 설명되는 것처럼 더 작은 시야 센서(view sensor)가 사용되도록 허용하므로 선호된다. 이것이 바람직하지만, 대안적으로 고정된 광학 센서가 사용될 수 있다. 그 시야는 이동식 광원에 접근 가능한 전체 공간을 포괄한다.

[0011] 전형적으로, 광학 센서를 이동시키고/시키거나 광학 센서에 대해 하나 이상의 광학 요소를 이동시키도록 구성된 액추에이터는 광원에서 나오는 빛의 방향을 지정하도록 구성된 동일한 액추에이터이며 즉, 하나의 액추에이터가

광원과 광학 센서 모두의 방향을 지정한다. 예를 들어, 광원과 광학 센서는 모두 동일한 본체 또는 프레임에 장착될 수 있으며, 그런 다음 광원과 광학 센서 모두가 서로 다른 목표를 동시에 가리키도록 액추에이터에 의해 이동된다. 대안적으로, 액추에이터는 광원으로부터 광학 센서로 빛을 전달하는 데 사용되는 한 세트의 광학 요소를 제어할 수 있다. 바람직하지만 광원과 광학 센서에 다른 액추에이터를 사용할 수도 있다. 이는 광원과 광학 센서를 서로에 대해 이동시키기 위한 즉, 다양한 측정 거리를 수용하기 위한 추가적인 액추에이터의 사용을 배제하지 않지만, 일반적으로 적어도 하나의 광원과 광학 센서가 서로에 대해 고정적으로 장착되는 것이 더 간단하고 따라서 바람직하다는 점에 유의해야 한다.

[0012] 위에서 언급한 것처럼 이동식 광학 센서(movable optical sensor)를 사용하면 더 작은 시야각의 센서를 사용할 수 있다. 특히, 광학 센서는 적어도 하나의 광원에 의한 조사(irradiation)를 위해 접근 가능한 전체 공간보다 작은, 바람직하게는 10% 이하, 보다 바람직하게는 5% 이하, 더욱 바람직하게는 1% 이하, 가장 바람직하게는 광원에 의한 조사에 접근 가능한 전체 공간의 0.5% 이하인 시야로부터 광을 수신할 수 있다. 광원에 접근할 수 있는 전체 공간은 작물 캐노피의 다양한 영역을 조사하기 위해 액추에이터가 광원에서 나오는 빛의 방향을 지정할 수 있는 방식을 의미(refer)하며, 이는 작업 영역을 정의하고, 이는 입체각(solid angle)일 수 있으며, 측정을 위해 광을 지향할 수 있는 곳이다. 절대적 측면에서, 광학 센서는 $400deg^2$ 이하, 바람직하게는 $200deg^2$ 이하, 보다 바람직하게는 $50deg^2$ 이하, 가장 바람직하게는 $25deg^2$ 이하의 시야로부터 광을 수신할 수 있다. 광학 센서로 사용될 수 있는 일반적인 카메라의 화각은 18° x 12° 이하, 더욱 바람직하게는 6° x 4° 일 수 있다. 여러 가지 이유로 상대적으로 작은 시야를 가진 광학 센서를 사용하는 것이 특히 바람직하다. 이는 엽록소 형광 측정의 신호 대 잡음비(the signal to noise ration)를 크게 감소시킨다. 즉, 조사된 영역이 센서 시야의 더 큰 부분을 차지하기 때문이다. 또한 시야각이 작을수록 엽록소 형광 측정을 분석할 때 전송하고 처리할 데이터가 적어 시스템 작동 속도가 빨라지고 전력 사용량이 제한된다.

[0013] 많은 실시예에서, 상기 광학 센서는 카메라와 같은 이미징 센서를 포함하는 것이 바람직하다. 이는 여러 가지 이유로 선호된다. 첫째, 센서의 시야 내에서 조사 영역의 위치를 결정할 수 있으며, 이에 따라 아래 설명과 같이 측정 대상까지의 거리를 결정할 수 있다. 또한 이를 통해 시스템은 작물 상태를 평가하고 관심 지점을 식별하는 데 유용할 수 있는 캐노피 이미지를 구성할 수 있다. 이미징 센서가 선호되지만 시스템은 비-이미징(non-imaging) 센서를 사용해도 여전히 허용 가능한 엽록소 형광 측정값을 얻을 수 있다. 실제로, 아래에 설명되는 것처럼 일부 상황에서는 비영상 센서가 선호될 수도 있다.

[0014] 어떤 경우에는 높은 측정 빈도가 가능한 광학 센서를 제공하는 것이 바람직할 수도 있으며, 이는 조사광에 대한 타겟의 반응 곡선을 보다 정확하게 측정할 수 있게 해준다. 이와 관련하여 높은 측정 주파수(high measurement frequency)는 최소 1kHz, 바람직하게는 최소 10kHz, 더 바람직하게는 최소 100kHz, 가장 바람직하게는 최소 1MHz의 주파수를 의미할 수 있으며, 이는 최대 1ms, 바람직하게는 최대 100μs, 보다 바람직하게는 최대 10μs, 가장 바람직하게는 최대 1μs의 측정 사이의 시간 간격에 해당한다. 일반적으로 측정 빈도가 높을수록 형광 반응 곡선에서 더 나은 해상도(resolution)를 제공하므로 선호된다. 카메라는 일반적으로 초당 프레임 수가 낮기 때문에 이러한 맥락에서 덜 선호된다. 대신에 비-영상 및/또는 아날로그 신호를 출력하는 광학 센서가 사용될 수 있는데, 이는 일반적으로 더 높은 측정 주파수를 달성할 수 있기 때문이다. 적합한 광학 센서에는 실리콘 광검출기(silicon photodetector) 및/또는 포토다이오드가 포함될 수 있다.

[0015] 엽록소 형광 측정 시스템이 직면한 한 가지 문제는 이러한 시스템이 펄스 폭 변조 성장 조명(pulse width modulated grow lights)을 사용하는 환경에 설치되는 경우가 많다는 것이다. 이러한 성장 조명에는 일반적으로 엽록소 형광과 관련된 동일한 원적외선 파장의 빛이 포함되며, 이 광원의 펄스 폭 변조는 식물을 촬영한 모든 이미지에 깜박임을 유발한다. 이러한 배경 깜박임으로 인해 하나의 이미지에서 엽록소 형광에서 나오는 빛의 비율과 성장 조명에서 반사되는 빛의 비율을 확인하기가 어렵다. 일반적으로 이 문제는 펄스 폭 변조의 사용을 제거하기 위해 성장 조명을 변경하여 모든 배경이 모든 이미지에 대해 일정하도록 해결되었다. 그러나, 영상 센서를 이용하는, 시스템은 상기 적어도 하나의 광원으로부터의 광이 조사된 영역을 포함하는 타겟 영역과 측정 이미지 내의 적어도 하나의 배경 영역을 구별하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함할 수 있고, 상기 컨트롤러는 배경 영역에서 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역에서 검출된 강도를 조정하도록 더 구성된다. 타겟 영역은 일반적으로 밝기, 위치 및 모양을 기반으로 식별될 수 있다. 즉, 일반적으로 타겟까지의 거리에 따라 위치가 특정 영역으로 제한되는 이미지의 밝은 지점이 된다. 컴퓨터 비전 기술을 사용하여 타겟 영역의 윤곽을 더욱 정확하게 파악할 수 있다. 여기에는 이미지 빼기, 윤곽 그리기, 평균화 또는 잡음 제거가 포함될 수 있다. 이미지에서 이 영역 외부의 모든 지점은 성장광에서 주로 반사된 빛을 포함할 것으로 예상될 수 있으므로 타겟 영역에서 배경

강도 수준을 설정하는 데 사용될 수 있다. 이 기술의 이점은 시스템이 타겟의 작은 영역만을 조사하는 방식에 의해 허용되며, 타겟을 광으로 덮으면 조명되지 않은 배경 영역과 즉각적인 비교를 얻을 수 없다는 알려진 기술이라는 점에 유의해야 한다.

[0016] 이러한 실시예에서, 배경 영역은 타겟 영역 외부의 측정 이미지의 실질적으로 전체일 수 있다. 이는 배경 보상(background compensation)을 계산적으로 단순하게 만들 수 있다. 대안적으로, 상기 컨트롤러는 바람직하게는 측정 이미지 전체에 걸쳐 검출된 강도에 기초하여 타겟 영역 밖의 측정 이미지의 일부를 배경 영역으로 선택하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 여기에는 타겟 영역과 동일한 식물 또는 동일한 잎의 영역을 식별하는 컴퓨터 비전 기술이 포함될 수 있고 또는 타겟 영역에 대한 이미지의 강도 및 근접성을 기반으로 할 수 있고, 또는 예를 들어 롤링 셔터로 인해 발생하는 배경 차이를 피하기 위해 이미지의 특정 수직 또는 수평 부분을 타겟으로 할 수 있다.

[0017] 타겟 영역에서 감지된 강도를 조정하는 것은 일반적으로 컨트롤러가 배경 영역 전체에 걸쳐 평균 배경 강도를 계산하고 타겟 영역에서 감지된 강도에서 평균 배경 강도를 빼는 것을 포함한다. 예를 들어, 배경 영역의 각 픽셀의 강도를 합산한 후 픽셀 개수로 나누어 평균 배경 강도를 계산할 수 있다. 또는 50번째 백분위수(fiftieth percentile)를 중앙값 배경 픽셀 강도로 사용할 수도 있다. 그런 다음 배경 값은 인공 배경 조명을 보상하기 위해 타겟 영역의 각 픽셀에서 감산될 수 있다.

[0018] 특히 광원이 레이저를 포함하는, 시스템과 관련하여 이미징 센서를 사용하는 또 다른 장점은 레이저 조사 프로필을 보상하여 엽록소 형광 측정의 품질을 향상시킬 수 있다는 것이다. 바람직하게는, 상기 시스템은 이미징 센서의 측정 이미지에서 타겟 영역을 식별하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함하며, 상기 타겟 영역은 하나 이상의 광원에 의해 조사되는 영역의 일부이며, 여기서 바람직하게는 레이저는 점형 영역(spot-shaped area)에 광을 조사하도록 구성되고, 상기 타겟 영역은 조사된 점형 영역의 중앙 부분이다. 레이저는 일반적으로 평평한 상단 복사 조도 프로파일(flat top irradiance profile)을 가지지 않기 때문에 레이저 광이 조사된 영역의 일부 부분은 포화 임계값에 도달하지 못할 수 있다. 따라서, 이미징 센서는 컨트롤러가 이 임계값이 충족되는 빛으로 조사된 영역의 일부를 격리하도록 허용할 수 있으며, 이 영역에서 엽록소 형광 측정이 감지될 수 있다. 상기 타겟 영역은 레이저의 특성에 따라 미리 결정될 수도 있고, 반사된 레이저 광의 검출 또는 반사된 레이저 광의 검출 또는 검출된 엽록소 형광 프로파일을 기반으로 측정 이미지에서 직접 결절될 수 있다.

[0019] 위에서 설명한 대로 이미징 센서와 비-이미징 센서를 모두 사용하면 다양한 이점이 있다. 따라서, 일부 실시예에서는 이미징 센서와 비-이미징 센서를 모두 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 바람직하게는, 엽록소 형광을 검출하고 바람직하게는 작동기에 의해 작동되는 상기 광학 센서는 포토다이오드와 같은 비-이미징 센서이고, 상기 시스템은 카메라와 같은 영상 센서를 추가로 포함한다. 상기 비-이미징 센서는 바람직하게는 아날로그 신호를 출력할 것이고/또는 적어도 1kHz, 바람직하게는 적어도 10kHz, 보다 바람직하게는 적어도 100kHz, 가장 바람직하게는 적어도 1MHz의 측정 주파수를 가질 것이다. 이 실시예에서, 상기 비-이미징 센서는 위에서 정의한 바와 같이 바람직하게는 작은 시야(field of view)를 갖는다. 비이미징 센서의 맥락에서 상기 시야는 빛이 센서에 충돌하는 영역을 의미하며 이는 비-이미징 센서와 관련된 하나 이상의 광학 요소 예를 들어, 렌즈에 의해 제어될 수 있다. 바람직하게는, 비-이미징 센서 또는 비이미징 센서와 연관된 거울과 같은 하나 이상의 광학 요소는 광학 센서가 빛이 조사된 각 영역에서 엽록소 형광을 감지할 수 있도록 액추에이터(가급적이면 광원에서 빛을 지시하는 것과 동일한 액추에이터)에 의해 움직일 수 있다. 상기 이미징 센서는 바람직하게는 비-이미징 센서보다 더 넓은 시야를 갖고, 작물 캐노피와 같은 광원에 의한 조사를 위해 접근 가능한 공간 내에서 조사된 영역을 찾을 뿐만 아니라 작물의 시각적 평가를 수행하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 비-이미징 광학 센서는 $400deg^2$ 이하, 바람직하게는 $200deg^2$ 이하, 더욱 바람직하게는 $50deg^2$ 이하, 가장 바람직하게는 $25deg^2$ 이하의 시야를 가질 수 있는 반면, 이비징 광학 센서는 적어도 $1000deg^2$, 바람직하게는 적어도 $2000deg^2$, 더욱 바람직하게는 적어도 $5000deg^2$, 가장 바람직하게는 적어도 $10000deg^2$의 시야를 가질 수 있다. 예를 들어, 작물 캐노피의 고정된 이미지를 제공하기 위해 이미징 센서는, 시스템 내에 실질적으로 고정될 수 있다. 그러나 대안적으로 이미징 센서와 비-이미징 센서 또는 이와 연관된 광학 요소는 동일하거나 다른 액추에이터에 의해 작동되어 빛이 조사되는 각 영역을 향하게 할 수 있다. 이미징 센서는 후술하는 바와 같이 시야 내 빛이 조사되는 영역의 위치에 기초하여 측정 대상까지의 거리를 판단하는데 사용될 수 있다.

[0020] 바람직하게는, 상기 시스템은 적어도 하나의 광원으로부터 반사된 빛을 차단하고 광학 센서가 엽록소 형광으로 인한 빛을 감지할 수 있도록 배열된 광학 필터를 추가로 포함한다. 이는 광학 센서 앞(즉, 광학 센서와 광원에 의해 조사되는 영역 사이)에 필터를 위치시키거나, 그렇지 않으면 타겟 영역과 광학 센서 사이의 광학 경로에

필터를 위치시킴으로써 수행될 수 있다. 일반적으로 광원은 엽록소 형광으로 재방출되는 것과 다른 파장 또는 파장 범위를 갖는 빛을 방출한다. 예를 들어, 광원은 450 nm일 수 있고 형광은 650 nm 내지 750 nm 범위일 수 있다. 광원에서 방출되는 파장 또는 파장 범위를 필터링하기 위한 광학 필터를 제공하면 엽록소 형광을 보다 정확하게 측정할 수 있다. 형광으로 재방출되는 파장은 광원에 의해 방출되는 파장보다 길며, 따라서 바람직하게는 필터는 바람직하게는 대략 650 nm 이하의 파장을 갖는 광을 차단하도록 구성된 롱-패스 필터(long-pass filter)이거나, 또는 바람직하게는 650 nm 내지 750 nm 범위 외부, 바람직하게는 650 nm 내지 700 nm 또는 700 nm 내지 750 nm 범위 외부의 광을 차단하도록 구성된 대역 통과 필터(band-pass filter)일 수 있다. 센서의 광학 경로로 독립적으로 이동할 수 있는 650nm~700nm 및 700nm~750nm의 별도 대역 통과 필터를 사용하면 PSI 및 PSII 형광 측정을 별도로 수행할 수 있다. 특히 바람직한 유형의 필터는 간섭 필터(interference filter)이다. 간섭 필터는 저렴하지만 필터링된 파장은 입사각에 따라 달라진다. 작은 영역에만 빛이 조사되기 때문에 이 영역 전체의 빛은 필터에 입사되며 입사각은 거의 동일하며 이는 간섭 필터가 특히 효과적일 수 있음을 의미한다. 이는 특히 광학 센서가 이동 가능한 경우에 해당되며, 왜냐하면 조사된 영역에 센서를 향하게 하면 캐노피에서 측정이 이루어지는 위치에 상관없이 빛이 항상 거의 동일한 방향에서 센서에 입사한다는 의미이기 때문이다.

[0021] 어떤 경우에는 필터를 선택적으로 사용할 수 있는 것이 바람직할 수도 있다. 예를 들어, 광학 필터는 적어도 하나의 광원으로부터 반사된 빛을 선택적으로 차단하기 위해 광학 센서에 충돌하는 빛의 광학 경로에 대해 이동할 수 있으며, 바람직하게는 광학 필터는 필터 휠(filter wheel)에 위치할 수 있다. 이를 통해 시스템은 작물 상태를 평가하기 위한 추가 측정을 수행할 수 있다. 예를 들어, 작물의 상태를 더 유추하기 위해서는 타겟 위치에서 반사되는 입사광의 양을 감지하거나, 캐노피의 정확한 컬러 사진을 구축하는 것이 바람직할 수 있다. 대안적으로, 위에서 언급한 바와 같이, 650 nm 내지 700 nm 및 700 nm 내지 750 nm의 대역 통과 필터와 같은 서로 다른 필터 사이를 전환하는 것이 바람직할 수 있다.

[0022] 위에서 언급한 바와 같이, 현재 시스템의 또 다른 장점은 작물 캐노피 높이에 대한 사진을 구축할 수 있다는 것이다. 이는 광학 센서의 시야 내 조사 영역의 위치, 크기 및/또는 형상에 기초하여 타겟 거리를 결정하도록 구성된 컨트롤러를 제공함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 광원이 3mm 스폿 크기의 레이저인 경우, 이는 이는 광학 센서의 시야에 있는 지점의 크기를 기반으로 레이저 지점까지의 거리를 추론하는 데 사용될 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 광학 센서의 시야 내 지점의 위치는 시차(parallax)의 결과를 기반으로 타겟와의 거리에 따라 변경될 수 있으며, 이는 타겟까지의 거리를 결정하는 데에도 사용될 수 있다. 예를 들어 광원의 작동에 의해 광원과 광학 센서가 가리키는 상대적인 방향이 변경되면 측정 대상까지의 거리를 결정하기 위해 액추에이터의 위치도 필요할 수 있다. 마지막으로, 지점의 모양을 사용하여 타겟 영역 전체의 거리 변화, 예를 들어 빔의 방향에 대한 타겟의 각도를 결정할 수 있다. 예를 들어, 원형 지점(circular spot)은 빔에 수직인 타겟을 의미할 수 있는 반면, 타원형 지점(elliptical spot)은 타겟의 한 쪽이 다른 쪽보다 광원에서 더 멀리 떨어져 있는 경사를 의미할 수 있으며, 타겟의 한쪽이 다른 쪽보다 광원에서 더 멀리 떨어져 있으며 이 경사의 크기는 지점의 신장 정도(degree of elongation of the spot)에 따라 결정될 수 있다. 이 거리와 경사는 엽록소 형광 측정에 고려되어 더 먼 거리나 더 높은 경사에서 감지된 낮은 강도를 보상하고 식물 성장에 대한 또 다른 측정에 고려되거나 또는 캐노피의 3D 모델을 구축할 수 있다. 또한, 바람직하게는, 광학 센서의 시야 내에서 조사되는 영역의 위치, 크기 및/또는 형상에 기초하여 광원의 파워가 조정된다. 이는, 시스템이 더 먼 거리 또는 더 가파른 경사각에서 빛의 더 낮은 에너지 밀도를 보상하도록 허용할 수 있다.

[0023] 바람직하게는, 상기 액추에이터는 적어도 하나의 광원(및 액추에이터에 의해 지시되는 경우 광학 센서)이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 2개의 자유도를 갖는다. 상기 시스템은 바람직하게는 측정 위치의 2차원 배열에 걸쳐 엽록소 형광 측정을 수행하여 작동한다. 다른 실시예에서는 한 방향만을 따라 영역을 측정하거나 캐노피를 가로질러 스윕하는 선 초점 레이저(line focussed laser)를 사용하여 한 차원의 움직임만 가질 수 있다.

[0024] 상기 시스템은 예를 들어 직교 방향을 따라 광원(및 선택적으로 광학 센서)을 이동시키는 액추에이터로 작동할 수 있지만, 액추에이터가 광원을 하나 이상의 방향으로 회전하도록 구성되는 것이 훨씬 바람직하다. 예를 들어, 바람직하게 상기 액추에이터는 적어도 하나의 광원이 2차원에 걸쳐 서로 다른 영역에 빛을 조사할 수 있도록 가변 요 및 피치(yaw and pitch)를 포함한다. 즉, 상기 액추에이터는 바람직하게는 광이 방출되는 방향에 실질적으로 수직인 2개의 서로 다른 직교 회전축을 중심으로 광원을 회전시킬 수 있다. 상기 액추에이터는 광원을 직접 회전시키지 않고, 광원(및 광학 센서)이 장착된 몸체를 회전시킬 수 있음을 알 수 있을 것이다. 이러한 형태의 액추에이터를 사용하면 시스템을 고정된 위치에 장착하면서 상대적으로 넓은 영역에서 엽록소를 측정할 수 있다. 대안적으로, 시스템은 2차원 영역에서 측정을 수행하기 위해 광원의 병진 이동의 한 방향과 회전 이동의

한 방향을 가질 수 있다.

[0025] 일부 특히 바람직한 실시예에서, 적어도 하나의 광원 및 광학 센서는 적어도 하나의 광원 및 광학 센서가 작동할 수 있는 투명 창(transparent window)을 포함하는 밀폐형 하우징 내에 장착된다. 일부 실시예에서, 상기 액추에이터는 또한 하우징 내부에 장착될 수 있거나, 대안적으로 상기 액추에이터는 광원 및 광학 센서가 내부에 있는 하우징을 이동할 수 있다. 이러한 배열은 습할 수 있는 환경으로부터 시스템을 보호하는 데 도움이 되며 시스템에 가까운 다른 장비나 작업자와의 접촉으로부터도 시스템을 보호할 수 있다. 이는 액추에이터가 광원을 회전시키는 경우에 특히 바람직하다. 이는 광원이 이동하는 작은 부피만으로 광원이 넓은 영역에서 측정을 수행할 수 있도록 하기 때문이다. 이러한 실시예에서, 투명 창은 하우징의 적어도 부분적으로 투명한 돔형(dome-shaped) 요소에 의해 제공되는 것이 바람직할 수 있다. "부분적으로 투명한" 용어는 돔형 하우징부의 적어도 일부가 투명하여 광원 및 광학 센서가 이를 통해 작동할 수 있다는 의미로 이해될 수 있다. 돔형 하우징 요소는 광원(및 광학 센서)이 지향되는 거의 모든 방향에 대해 광원으로부터의 광이 돔형 하우징 요소의 부분에 실질적으로 수직인 방향으로 돔형 하우징 요소의 부분을 통과하도록 배열될 수 있다. 광원(및 광학 센서)의 방향이 맞춰져 있다. 이는 창에 의한 빛의 왜곡을 최소화할 수 있으며, 특히 상대적으로 작은 시야를 사용하는 경우 광학 센서에 의해 수신된 빛의 왜곡도 최소화할 수 있다.

[0026] 위에서 언급한 바와 같이, 바람직하게는 적어도 하나의 광원은 레이저를 포함한다. 바람직하게는, 상기 레이저는 점 형태의 영역을 조사하도록 구성된다; 그러나 대안적으로 선 모양의 영역을 조사하도록 구성된 선 초점 레이저를 사용할 수 있다. 레이저는 조밀하게 시준된 빛을 생성하고 일반적으로 매우 작은 영역을 조사하며 원하는 파장의 빛을 사용하도록 선택할 수 있으므로 특히 유용하다. 따라서 이는 상대적으로 낮은 전력량을 사용하면서 조사 영역에 필요한 에너지 밀도 임계값을 충족할 수 있으며 광범위한 거리에서 작동할 수도 있다. 바람직하게는 레이저는 조정 가능한 출력 레이저(adjustable power laser)이다. 이렇게 하면 동일한 레이저가 포화 및 측정 펄스(saturation and measurement pulses)를 모두 수행할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 이는 레이저가 측정 대상까지의 거리 및/또는 입사 방향에 대해 기울어진 타겟으로 인한 조사 영역의 변화를 보상하기 위해 출력을 조정할 수 있도록 허용할 수 있다. 예를 들어, 서로 다른 파장의 빛을 사용하여 별도의 측정을 수행하려는 경우 광원은 하나 이상의 레이저를 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 레이저가 사용되는 경우, 바람직하게는, 시스템은 홀로그램 확산기(holographic diffuser)와 같은 적어도 하나의 빔 성형 광학 요소(beam shaping optical element)를 추가로 포함한다. 이러한 빔 형성기는 레이저의 원하는 스폿 크기, 모양 및 균일성을 달성하여 엽록소 형광 측정을 향상시키도록 구성될 수 있다.

[0027] 레이저 대신 또는 레이저에 추가하여 사용하기 위한 또 다른 바람직한 유형의 광원은 하나 이상의 LED(light emitting diodes)일 것이다. LED는 레이저에 비해 일반적으로 가격이 저렴하고 안전 고려사항이 덜 필요하다는 장점이 있다. 아래에서 더 자세히 설명되는 바와 같이, 일부 바람직한 실시예는 하나 이상의 LED와 하나 이상의 레이저를 모두 사용할 수 있다. 보조 LED를 사용하면 레이저에 필요한 전력이 줄어들 수 있다. 즉, 포화 및 측정 펄스에 필요한 에너지 밀도에 도달하는 데 레이저에서 필요한 전력이 더 적기 때문에 시스템을 작업자 주변에서 사용하기에 더 안전하게 만드는 데 도움이 될 수 있다. 그럼에도 불구하고 시스템은 여전히 낮은 전력 사용량의 이점을 누릴 수 있다.

[0028] 실제로, 적어도 하나의 광원은 LED가 예일 수 있는 발산 광원(diverging light source), 및 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치(focusing optic)를 포함할 수 있다. LED 전구와 같은 발산 광원은 초기에 넓은 각도 범위에 걸쳐 방출된 광의 적어도 일부를 하나 이상의 렌즈와 같은 초점 광학 장치에 의해 집중시켜 측정 대상의 에너지 밀도를 증가시킬 수 있다. 빛이 초점 광학 장치에 의해 실질적으로 시준되는 것이 바람직할 것이다. 상기 집속 광학 장치에 의해 시준된 빛은 일반적으로 예를 들어 레이저보다 더 느슨하게 시준되므로 측정 대상까지의 거리에 따라 조사 영역의 크기가 더 크게 변할 수 있다는 점을 이해해야 한다. 어떤 경우에는 빛을 집중적으로 집중시키는 것이 더 나을 수도 있다. 이는 레이저 스폿에 비해 일정 거리에서 작은 면적을 조사하는데 유용할 수 있다. 다른 경우에는 초점 광학 장치가 조정 가능하며 측정 대상까지의 거리에 따라 빛의 초점이 달라질 수 있다.

[0029] 사용되는 광원의 유형에 관계없이 바람직하게는 상기 광원은 조정 가능한 전원 광원으로, 광원이 포화 및 측정 펄스를 모두 수행하고 타겟까지의 거리에 따라 전력을 조정할 수 있다.

[0030] 위에서 언급한 바와 같이, 상기 시스템은 복수의 광원을 포함할 수 있으며, 각각은 실질적으로 시준되거나 집중적으로 초점이 맞춰진 빛을 방출하도록 구성되고 공통 영역에 빛을 조사하도록 배열된다. "공통 영역"을 조사한다는 것은 2개의 광원이 타겟에 충돌하는 곳에서 적어도 부분적으로 겹치는 것을 의미하는 것으로 이해될 것이

다. 광원이 반드시 정확히 동일한 영역을 조사할 필요는 없다는 점에 유의해야 한다. 예를 들어, 초점이 맞춰진 LED의 스폿이 레이저의 스폿보다 더 큰 것이 일반적일 수 있지만, 그럼에도 불구하고 이는 동일한 대상을 향할 수 있으며 두 광원에 의해 조사되는 공통 영역을 정의한다. 시스템에 의해 운반되는 모든 광원이 하나의 동일한 공통 영역을 조사할 필요는 없다는 점에 유의해야 한다. 예를 들어, 시스템은 제1레이저 및 제1 측정 유형에 대해 제1 파장의 광을 방출하는 하나 이상의 LED, 및 제2레이저 및/또는 제2 측정 유형에 대해 다른 제2 파장의 광을 방출하기 위한 하나 이상의 LED를 포함할 수 있으며, 이러한 광원에서 나오는 빛은 반드시 겹칠 필요는 없고, 그리고 실제로 그것들은 겹치지 않는 것이 바람직할 수도 있다.

[0031] 위에서 언급한 바와 같이 다양한 유형의 광원에는 고유한 장점이 있으므로 각각의 장점을 활용하려면 동일한 시스템에 다양한 유형을 통합하는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 바람직하게는 복수의 광원 중 첫 번째는 레이저, 바람직하게는 조정 가능한 전력 레이저를 포함하고, 복수의 광원 중 두 번째 광원은 발산 광원(예를 들어, 하나 이상의 LED) 및 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴하여 초점을 맞추기 위한 초점 광학 장치를 포함한다. 위에서 언급한 바와 같이, 이러한 유형의 하나 이상의 집중 광원으로 레이저를 보완하면 포화 및 측정 펄스에 필요한 에너지 밀도에 도달하기 위해 필요한 레이저 출력을 줄일 수 있으므로 시스템을 작업자 주변에서 사용하기에 더 안전하게 만들 수 있다. 실제로 대부분의 경우 두 개 이상의 광원이 사용된다. 바람직하게는, 복수의 광원 중 3분의 1은 발산 광원 및 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴식으로 집속하기 위한 집속 광학 장치를 포함한다. 이러한 바람직한 경우에는 엽록소 형광을 측정하기 위해 공통 영역에 빛을 조사하도록 구성된 발산 광원 배열과 초점 광학 장치, 그리고 하나 이상의 레이저를 포함할 수 있다. 복수의 광원, 특히 복수의 발산형 광원(예를 들어, LED) 및 관련 집속 광학 장치는 광학 센서 주위에 링 어레이로 배열될 수 있다. 광원의 링 배열은 서로 다른 조사 방향에서 측정 대상에 대한 빛의 균일성을 향상시키기 때문에 유리한다.

[0032] 레이저가 발산 광원(예를 들어, 하나 이상의 LED) 및 발산 광원으로부터 방출된 광을 실질적으로 시준하거나 수렴하여 초점을 맞추기 위해 초점 광학 장치(focusing optic)와 결합하여 사용되는 경우, 바람직하게는 레이저는 조정 가능한 출력 레이저(adjustable power laser)이고 상기 시스템은 타겟 거리에 기초하여 및/또는 제2 광원의 출력 및/또는 제2 광원의 빔 발산에 기초하여 레이저의 출력을 조정하도록 구성된 컨트롤러를 더 포함한다. 위에서 언급한 바와 같이 초점 광학 장치를 포함하는 발산 광원은 일반적으로 측정 타겟까지의 거리에 따라 조명 영역이 더 크게 변하는 문제를 겪게 된다. 조정 가능한 레이저를 사용하면 이를 수용하기 위해 레이저 출력이 달라질 수 있다. 예를 들어, 타겟이 가깝고 초점 광학 장치가 있는 발산 광원의 빛이 작은 영역에 집중되는 경우 포화 펄스 또는 측정 펄스에 필요한 에너지 밀도에 도달하려면 더 낮은 출력의 레이저 스폿이 필요할 수 있다. 반면, 타겟이 더 멀리 있는 경우, 시준이 완벽하지 않거나 목표물이 수렴 초점의 초점을 벗어났기 때문에 빛은 더 넓은 영역으로 퍼질 수 있으므로 필요한 에너지에 도달하려면 레이저에서 더 많은 전력이 필요한다. 레이저의 조정은 또한 광학 센서의 시야 내에서 조사된 영역의 위치, 크기 및/또는 모양에 (레이저에 의해 또는 발산 광원 및 초점 광학 장치에 의해) 기초할 수 있으며, 이는 위에서 설명한 바와 같이 타겟까지의 거리와 타겟의 경사를 나타내는 지표가 될 수 있다.

[0033] 위에서 언급했듯이, 상기 시스템을 사용하여 측정할 때 서로 다른 파장 또는 파장 범위의 빛을 사용하는 것이 바람직할 수 있으며, 따라서 복수의 광원을 갖는, 시스템은 서로 다른 파장 또는 파장 범위를 갖는 광을 방출하는 복수의 광원 중 적어도 2개를 포함할 수 있다. 이것이 가능하지만, 하나의 파장 또는 파장 범위의 빛만 사용하는, 시스템을 갖는 것도 가능한다.

[0034] 현재 시스템의 많은 장점은 한 번의 측정 중에 시스템이 작은 타겟 영역에 작용하도록 제한하는 것에서 비롯된다. 바람직하게는, 광원 또는 각각의 광원은 미리 결정된 작업 거리에서 50 cm^2 이하, 바람직하게는 25 cm^2 이하, 더 바람직하게는 5 cm^2 이하, 훨씬 더 바람직하게는 1 cm^2 이하, 가장 바람직하게는 5 mm^2 이하의 영역을 조사하도록 구성된다. 예를 들어 집속된 LED는 레이저보다 더 넓은 영역을 조사할 수 있으며, 레이저는 일반적으로 1 cm^2 이하, 종종 5 mm^2 이하의 스폿 크기를 갖는다는 것이 이해될 것이다. 일반적으로 조사 영역이 작을수록 더 작은 시야 센서를 사용할 수 있어 소음 및 데이터 처리 요구 사항이 줄어들고 광원이 목표 에너지 밀도에 도달하는 데 사용하는 에너지도 줄어들기 때문에 선호된다. 미리 결정된 작업 거리는 0.1m 내지 20m 범위, 바람직하게는 0.1m 내지 10m 범위, 보다 바람직하게는 0.1m 내지 5m 범위, 가장 바람직하게는 0.5m 내지 1m 범위일 수 있다. 조사 영역의 크기는 방출된 빛의 시준 또는 수렴과 빛이 대상에 충돌하는 광원으로부터의 거리에 따라 결정된다. 일반적으로 시스템은 다양한 거리에 걸쳐 작동하도록 구성되므로 목표 조사 영역 크기는 전체 작업 범위에 걸쳐 달성되는 것이 바람직할 수 있으며, 이는 0.1m 내지 20m, 바람직하게는 0.1m 내지 10m, 더 바람직

하게는 0.1m 내지 5m, 가장 바람직하게는 0.5m 내지 1m일 수 있다. 이는 실질적으로 시준된 광원이 작업 범위의 양쪽 극단에서 타겟 조사 영역 크기를 충족하도록 보장함으로써 간단히 달성될 수 있다. 하나의 주목할만한 예에서, 광원 또는 각각의 광원은 50 cm^2 이하의 영역, 0.1 m 내지 20 m 범위의 적어도 하나의 작업 거리(working distance)에서, 바람직하게는 전체 작업 범위에 걸쳐 조사하도록 구성된다. 레이저를 사용하는 경우 조사되는 면적은 0.1m~20m 전체 범위에서 1cm^2 이하일 수 있다. 그러나 먼 거리에서 형광을 검출하는 데 한계가 있기 때문에 시스템의 작업 범위가 더 작아지고 결과적으로 더 작은 조사 영역을 얻을 수 있을 가능성이 높다. 이러한 일례에서, 광원 또는 각각의 광원은 0.1m 내지 10m 범위의 적어도 하나의 작업 거리에서, 바람직하게는 상기 범위 전체에 걸쳐 25cm^2 이하의 영역을 조사하도록 구성된다. 다른 예에서, 광원 또는 각각의 광원은 0.1m 내지 5m 범위의 적어도 하나의 작업 거리에서, 바람직하게는 상기 범위 전체에 걸쳐 10cm^2 이하의 영역을 조사하도록 구성된다. 다시 말하지만, 특히 레이저는 0.1m ~ 10m 또는 0.1m ~ 5m의 작업 범위에서 1cm^2 이하의 영역을 조사할 수 있다. 물론, 광원과 광학 센서를 적절하게 선택함으로써 특정 설치에 필요한 대로 작업 범위와 조사 영역을 구성할 수 있음은 자명한다.

[0035] 많은 실시예에서, 다음과 같이 구성된 컨트롤러도 제공된다: a) 적어도 하나의 광원을 이용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계; b) 광학 센서를 사용하여 제1영역에서 엽록소 형광을 감지하는 단계; c) 액추에이터를 사용하여 적어도 하나의 광원의 방향을 변경(redirect)하는 단계; d) 적어도 하나의 광원을 이용하여 제2 영역에 광을 조사하는 단계; 및 e) 광학 센서를 사용하여 제2영역에서 엽록소 형광을 감지하는 단계. 컨트롤러는 일반적으로 추가 측정 대상에 대해 단계 c), d) 및 e)를 반복한다. 즉, 광원을 사용하여 서로 다른 영역에 빛을 연속적으로 조사하고 측정 위치의 2차원 배열에 걸쳐 해당 영역에서 엽록소 형광을 감지한다. 이를 통해 시스템은 제한된 수의 측정으로 작물의 캐노피 전체에 걸쳐 식물 성장에 대한 그림을 구축할 수 있다.

[0036] 시스템은 네트워크, 바람직하게는 인터넷을 통해 컨트롤러 및/또는 데이터 처리 및/또는 저장 장치에 연결될 수 있다. 예를 들어, 시스템에 의해 수집된 데이터는 인터넷을 통해 클라우드 처리 및/또는 저장 네트워크로 전달될 수 있다. 시스템은 예를 들어 그러한 네트워크에 연결하기 위한 WiFi 또는 이더넷 연결 모듈을 포함할 수 있다.

[0037] 서로 다른 영역에서 식물의 엽록소 형광을 측정하기 위해 각각 전술한 바와 같은 복수의 시스템이 제공될 수 있다. 이들 시스템 각각은 제어 및/또는 측정 데이터 수집을 위해 동일한 네트워크에 연결될 수 있다.

[0038] 측정값은 하나 이상의 시스템에 연결된 디스플레이와 같은 인터페이스를 통해 운영자, 예를 들어 재배자에게 보고되거나 API를 통해 운영자의 장치에 보고될 수 있다. 여러 시스템이 제공되는 경우 측정값이 보고되고 감지가 이루어진 각 시스템에 귀속될 수 있다.

[0039] 현재 시스템의 장점은 포화 펄스와 측정 펄스 모두에 동일한 광원을 사용할 수 있다는 것이다. 바람직하게는, 상기 컨트롤러는 서로 다른 강도 및/또는 지속 시간을 갖는 복수의 광 펄스를 제1 및 제2 영역 각각에 조사하도록 구성된다. 특히, 이는 소위 F0 측정을 제공하기 위해 더 낮은 강도, 더 낮은 주파수 및/또는 더 짧은 기간(제2 측정 단계에 비해)을 갖는 적어도 하나, 바람직하게는 복수의 측정 펄스로 각 영역을 조사하는 것을 포함하는 제1 측정 단계를 포함할 수 있다. 이 제1측정 단계(measurement phase)에서 빛은 일반적으로 (두 번째 단계에 비해) 낮은 평균 강도로 강도가 변조된다. 이는 일반적으로 낮은 강도의 켜짐 상태와 꺼짐 상태 사이의 변조를 포함하지만 두 가지 강도 사이에서 달라질 수 있으며 두 강도 모두 두 번째 측정 단계의 펄스에 비해 낮을 수 있다. 그 다음, 제2 측정 단계는 일반적으로 소위 Fm 측정을 제공하기 위해 제1 측정 단계의 펄스보다 더 높은 강도, 더 높은 주파수 및/또는 더 긴 지속 시간을 갖는 적어도 하나의 포화 펄스(saturation pulse)로 상기 영역을 조사하는 것을 포함할 수 있다. 이 제2측정 단계에서 빛은 일반적으로 제1단계에 비해 높은 평균 강도로 강도가 변조된다. 이는 두 개의 서로 다른 강도 사이에서 빛을 변화시키는 것을 포함할 수 있으며, 두 강도는 일반적으로 제1측정 단계에서 사용된 강도 중 어느 것보다 높을 것이다. 제2측정 단계를 수행한 후 일반적으로 세 번째 단계가 이어지며, 여기서 더 낮은 강도, 더 낮은 주파수 및/또는 더 짧은 지속 시간의 측정 펄스가 재개된다. 예를 들어 빛은 일반적으로 낮은 강도 온 상태와 오프 상태 사이에서 낮은 평균 강도(두 번째 측정 단계에 비해)로 강도가 변조된다.

[0040] 특히 바람직한 일 실시예에서, 상기 컨트롤러는 제1 측정 단계에서 (제2측정 단계에 비해) 낮은 평균 강도를 갖는 하나 이상의 광 펄스를 정의하기 위해 빛의 강도가 변조되고, 제2측정 단계에서 광은 함께 높은 평균 강도를 갖는 복수의 개별적인 서로 다른 펄스 유형을 정의하기 위해 강도가 변조 되도록 각 영역에 광을 조사하도록 적

어도 하나의 광원을 제어하도록 구성된다. 이는 포화 펄스(즉, 본 용어의 제2측정 단계)가 일반적으로 여러 개의 서로 다른 광 펄스를 중첩하여 형성되는 단일 광 펄스로 구성되므로 이는 기존 측정 프로세스에서 포화 펄스를 사용하여 수행되는 측정과 다르다.

[0041] 바람직하게는 타겟 영역에서 조사된 광의 강도는 각 펄스 유형 사이에서 실질적으로 0으로 돌아간다. 각 펄스 유형 사이에서 광 강도가 0으로 돌아가는 것이 바람직한다. 이는 광원의 선형성 요구 사항(linearity requirement)에 도움이 되기 때문이다. 그러나 대안적으로 강도는 펄스 사이에서 낮은 기준 강도로 돌아갈 수 있다.

[0042] 본 실시예에서는 바람직하게는 제2 측정 단계는 제1 펄스 유형의 복수의 광 펄스와 제2 펄스 유형의 복수의 광 펄스를 포함하며, 여기서 제2 펄스 유형의 광 펄스는 제1 펄스 유형의 광 펄스 사이에서 발생하며, 바람직하게는 제1 펄스 유형과 제2 펄스 유형은 교대로 발생한다. 제1 펄스 유형은 바람직하게는 낮은 값, 바람직하게는 오프 상태(off state)에서 제1 높은 값으로 변조되는 광을 포함하고, 상기 제1 펄스 유형은 낮은 값으로 복귀하기 전에 제1 강도 및 지속 시간을 가지며, 제2 펄스 유형은 바람직하게는 동일한 낮은 값, 바람직하게는 오프 상태로부터 제2 높은 값(제1 높은 값과 동일하거나 다를 수 있음)으로 변조되는 광을 포함하고, 제2 펄스 유형의 강도 및 지속 시간 중 적어도 하나, 바람직하게는 둘 다는 제2 측정 단계에서 제1 펄스 유형의 강도 및 지속 시간과 상이하다. 실제로 일반적으로 펄스의 지속 시간은 몇 배 정도 다르다. 여기서 제2측정 단계는 기존의 포화 펄스와 유사하다; 그러나 본 예에서는 타겟에 포화 펄스가 조사되고, 그 후 짧은 기간 동안 스위치가 꺼지고 포화 펄스가 오프되는 이 기간 동안 타겟에 측정 펄스가 조사된다.

[0043] 위의 측정 프로필에는 여러 가지 장점이 있다. 상기 펄스 프로파일은 상승 또는 하강 시간에 민감하지 않으며 진폭, 즉 강도에 크게 민감하지 않다. 광원의 선형성 요구 사항이 감소하고 전류 감도에 대한 스위치가 감소한다. 두 개의 레이저 펄스가 중첩되지 않기 때문에 레이저 안전성도 향상된다.

[0044] 또 다른 바람직한 실시예에서, 상기 컨트롤러는 상기 적어도 하나의 광원을 제어하여 각 영역에 빛이 조사되도록 구성되고, 제1 측정 단계에서, 광은 제1 측정 단계의 제1 부분을 구성하고 (제2 측정 단계에 비해) 낮은 평균 강도를 갖는 광의 하나 이상의 개별 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2 측정 단계에서, 광은 제1 비율보다 더 큰 제2 측정 단계의 제2 비율을 구성하고 높은 평균 강도를 갖는 복수의 이산 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조된다. 측정 단계의 비율은 빛이 낮은 값(예를 들어 빛이 꺼진 상태)에 있는 시간과 비교하여 빛 강도가 높은 값(예를 들어 빛이 켜져 있는 상태)에 있는 시간의 양을 나타낸다. 제2측정 단계는 더 높은 평균 강도를 제공하기 위해 제1측정 단계보다 높은 강도 값에서 더 높은 비율을 가져야 한다. 예를 들어, 이러한 서로 다른 비율은 제2측정 단계의 펄스보다 낮은 주파수를 갖는 제1측정 단계의 펄스를 제공함으로써 제공될 수 있다. 바람직하게는 제2측정 단계의 펄스는 5~1000kHz, 바람직하게는 10~1000kHz, 더욱 바람직하게는 10~500kHz의 주파수를 가지므로 작물의 생물학적 반응은 빛의 주파수에 의해 영향을 받지 않고 오직 평균 강도에 반응한다.

[0045] 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일한 강도를 갖는다. 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일한 지속 시간을 갖는다. 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일하고, 서로 다른 평균 강도를 제공하기 위해 주파수가 다르다.

[0046] 이 실시예에서는 기존의 포화 펄스(현재 두 번째 측정 단계와 동일)가 고주파수 펄스열로 대체된다. 이러한 펄스는 F0 측정(현재 용어의 첫 번째 측정 단계)에 사용되는 측정 펄스와 동일할 수 있다. 제1측정 단계에서 펄스 진폭, 지속 시간 및 듀티 사이클을 계산하여 제1측정 단계에서 낮은 평균 조명을 달성하여 광합성이 촉발되지 않도록 하고 제2측정 단계에서 반응 중심의 포화를 달성할 수 있다.

[0047] 본 실시예에서와 같이 단지 하나의 펄스 유형만을 사용하는 이점은 펄스를 생성하기 위한 드라이버가 간단할 수 있다는 점이다. 펄스 프로필은 상승 또는 하강 시간에도 민감하지 않으며 펄스 진폭에도 크게 민감하지 않다. 광원의 선형성 요구 사항이 감소하고 전류 감도에 대한 스위치가 감소한다. 이 기술은 감지기가 잠금 증폭기(lock-in amplifier)를 사용할 수 있음을 의미한다. 일반적인 포화 펄스에 필요한 피크 진폭보다 낮을 수 있는 단일 진폭을 사용할 수 있으므로 레이저 안전성이 향상될 수 있다. 마지막으로, 이 측정 기술의 중요한 장점은 고주파 펄스를 사용하면 특히 비 이미징 센서를 사용하여 고주파에서 측정을 수행할 수 있다는 것이다. 이를 통해 OJIP와 같은 엽록소 형광 동역학을 측정할 수 있다.

[0048] 검출기 시스템에 의해 포착된 빛 강도를 엽록소 형광 측정(Fo, Fm)으로 변환하려면 식물 잎에서 대타겟인 형광 강도를 얻기 위해 추가 처리 단계가 필요할 수 있다. 이는 전력 강도의 가우스 분포를 갖는 일반적인 레이저 스

폿 프로파일에 기인하며 중앙 영역만 측정에 충분한 광 강도를 갖는다. 따라서 형광 강도를 계산하기 위한 격리된 영역(isolated region)은 중앙 영역으로 제한되어야 한다. 각 여기 강도에서 검출기에 의해 반환된 형광 강도에 대해 겹치지 않는 대칭 정규 분포를 보장하기 위해 영역을 계산해야 한다. 이미지 센서의 경우 컴퓨터 비전 기술을 사용하여 위에서 설명한 대로 먼저 관심 영역을 감지한 다음 특정 관심 픽셀을 세분화하여 정확한 측정을 보장할 수 있다.

[0049] 많은 실시예에서, 광원과 타겟 사이의 광학 경로 및 타겟과 광학 센서 사이의 광학 경로는 서로 다른 각도로 타겟 영역에 충돌한다. 이는 광원과 광학 센서의 간격을 두고 동일한 타겟을 겨냥한 결과일 수 있다. 일부 상황에서는 이러한 배열이 유리하며 실제로 우리는 이 시차가 목표까지의 거리를 결정하는데 어떻게 도움이 될 수 있는지 이미 설명했다. 그러나, 다른 상황에서는, 광학 경로가 타겟에서 실질적으로 동일하도록 동축 배열을 갖는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 일부 실시예는 빔 스플리터 또는 광 커플러(beam splitter or optical coupler)를 추가로 포함하고, 여기서 상기 광원은 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통한 제1 광학 경로를 따라 상기 영역, 즉 타겟 영역을 조사하도록 배열되고, 상기 광학 센서는 상기 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통한 상기 제1 광학 경로와 다른 제2 광학 경로를 따라 상기 영역으로부터 방출되는 엽록소 형광을 수신하도록 배열되고, 여기서 광원과 광학 센서는 광 경로가 실질적으로 동축이 되도록, 즉 빔 스플리터 또는 광 커플러와 상기 조사 영역 사이에서 동일하도록 배열된다. 즉, 타겟에 대한 조사 방향은 센서의 감지 방향과 실질적으로 동일하다. 빔 스플리터와 광 커플러는 각각의 입력 방향을 두 개의 출력 방향으로 변환하며, 본 배열은 광원으로부터의 2개의 출력 중 하나를 사용하여 형광등을 입력으로 수신하고, 광학 센서는 이 형광등의 빈 출력에 배열된다. 이는 광학 센서가 빔 스플리터 또는 광 커플러를 통해 광원과 축상으로 효과적으로 제공될 수 있게 한다. 이는 예를 들어 타겟의 특성에 관계없이 타겟 영역의 형광이 항상 동일한 위치의 광학 센서에 입사하도록 하여 타겟을 식별할 필요성을 없애 측정 속도를 높일 수 있다.

[0050] 광학 필터가 사용되는 이러한 실시예에서, 필터는 빔 스플리터 또는 광학 커플러와 광학 센서 사이에 배열되어야 하며, 즉 제1 광학 경로가 필터를 통과하지 않도록 해야 한다. 이렇게 하면 조사되는 빛은 필터의 영향을 받지 않고 광학 센서에 결합된 형광 빛만 필터링된다.

[0051] 빔 스플리터 사용의 한 가지 장점은 이것이 빔 스플리터와 조사될 상기 영역 사이에 초점 광학 장치를 더 포함할 수 있다는 것이고, 초점 광학 장치(focusing optics)는 광원으로부터의 광을 실질적으로 시준하거나 수렴적으로 초점을 맞추고, 상기 영역으로부터의 엽록소 형광을 광학 센서를 향해 시준하거나 수렴적으로 초점을 맞추도록 구성된다. 따라서 센서로 향하는 빛의 모양을 지정하는 데 사용되는 것처럼 광원에서 나오는 빛의 모양을 지정하는 데 한 세트의 광학 장치를 사용할 수 있다. 이는, 시스템의 생산 비용을 낮추게 할 수 있다.

[0052] 광 커플러 사용의 한 가지 장점은 광원이 제1 광섬유의 제1 단부로 광을 방출하도록 구성될 수 있고, 광학 센서가 제2 광섬유의 제1 단부로부터 광을 수신하도록 구성될 수 있다는 점으로, 상기 제1 광섬유와 제2 광섬유는 광 커플러에 의해 서로 연결되어, 제1 광섬유 또는 제2 광섬유의 제2 단부는 광원으로부터 광을 방출하여 상기 영역을 조사하고, 상기 제2 단부는 상기 영역으로부터 엽록소 형광을 수용하며, 바람직하게는 상기 액추에이터는 제1 광섬유 또는 제2 광섬유 중 어느 하나의 제2 단부를 이동시킴으로써 광원으로부터의 광을 제어 가능하게 지향시키도록 구성된다. 특히, 이러한 배열은 광원과 광학 센서가 고정된 상태로 유지될 수 있고, 빛의 지향과 광학 센서의 조준이 광섬유를 이동함으로써 수행된다는 것을 의미한다. 이러한 실시예에서, 제1 또는 제2 광섬유의 제2 단부로부터 방출된 광을 타겟을 향해 시준하거나 수렴적으로 포커싱하고, 이를 광섬유에 결합하기 위해 엽록소 형광을 포커싱하기 위한 포커싱 광학 장치를 포함하는 것이 바람직할 수 있다.

[0053] 위의 실시예는 비-이미징 광학 센서와 함께 사용될 때 특히 유리한다. 이는 엽록소 형광이 항상 광학 센서의 동일한 위치에 입사하고 시야 내에서 타겟 영역을 식별하는데 이미징이 필요하지 않기 때문이다. 위에서 언급한 것처럼 비-이미징 센서는 일반적으로 더 높은 측정 주파수를 지원하므로 펄스 응답 곡선을 측정하는 데 유용할 수 있다.

[0054] 본 발명의 두 번째 측면에 따르면, 하기 단계를 포함하는 엽록소 형광 측정 방법이 제공된다: a) 실질적으로 시준되거나 수렴적으로 집속된 광을 방출하도록 구성된 적어도 하나의 광원을 사용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계; b) 광학 센서를 이용하여 제1영역에서 엽록소 형광을 검출하는 단계; c) 액추에이터를 사용하여 적어도 하나의 광원을 이동시키는 단계; d) 상기 적어도 하나의 광원을 이용하여 제2 영역에 광을 조사하는 단계; 및 e) 광학 센서를 이용하여 제2 영역에서 엽록소 형광을 검출하는 단계.

[0055] 이 방법은 본 발명의 제1측면에 따른 시스템을 사용하여 엽록소 형광을 측정하는 방법에 해당하며, 여기서 광원은 테스트를 위해 서로 다른 영역을 선택적으로 조사하기 위해 액추에이터에 의해 이동 가능하다. 본 발명의 제

1 측면에 관해 위에서 설명한 유리한 특징들 각각은 마찬가지로 이 측면에 따른 방법에서 구현될 수 있다.

[0056] 단계 c), d) 및 e)는 하나 이상의 추가 영역에 대해 반복될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 이러한 추가 영역은 제1 및 제2 영역과 다른 영역을 포함할 수 있지만, 시간에 따른 엽록소 형광의 변화를 감지하기 위해 예를 들어 나중에 실질적으로 동일한 제1 및/또는 제2 영역에서 반복 측정을 포함할 수도 있다. 본 방법은 시간 경과에 따른 엽록소 형광을 측정하고 운영자, 예를 들어 재배자에게 변경 사항을 보고함으로써 식물 광합성 효율, 광화학 공정에서 빛 광자를 여기된 전자 상태로 변환하는 실시간 모니터링을 제공하는 데 사용될 수 있다.

[0057] 이 방법은 검출된 엽록소 형광으로부터 Fv/Fm과 같은 일반적인 엽록소 형광 측정법을 결정하는 데 사용될 수 있다. 이 방법은 식물 성장과 생산성을 모니터링하고 보고하는 데에도 사용될 수 있다. 예를 들어, 엽록소 형광 측정법은 시간이 지남에 따라 측정될 수 있으며 변경 사항이 식별되어 운영자, 예를 들어 재배자에게 보고될 수 있다. 이러한 모니터링된 지표를 통해 측정된 공장 환경에 대한 변경 사항을 권장하는 것이 가능할 수 있다. 예를 들어, 방법은 검출된 엽록소 형광 또는 시간 경과에 따른 검출된 엽록소 형광의 변화를 기반으로 인공 조명, 온도, 물, 습도, CO_2 또는 O_2 농도, 토양 영양분 농도 및 토양 pH 등 하나 이상의 조명에 대한 변경을 권장하는 작업이 포함될 수 있다.

[0058] 본 발명의 추가 측면에 따르면, 하기 단계를 포함하는 엽록소 형광 측정 방법이 제공된다: 적어도 하나의 광원을 이용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계, 여기서 상기 제1 영역을 조사하는 단계는 제1측정 단계에서 상기 광은 낮은 평균 강도를 갖는 하나 이상의 광 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되도록, 제2측정 단계에서 상기 광은 함께 높은 평균 강도를 갖는 복수의 별개의 서로 다른 펄스 유형을 정의하기 위해 강도가 변조되도록 상기 제1여역에 광을 조사하는 단계를 포함하고, 여기서 바람직하게는 타겟 영역에서 조사된 광의 강도는 제2 측정 단계의 각 펄스 유형 사이에서 실질적으로 0으로 돌아감; 및 광학센서를 이용하여 상기 제1영역에서 엽록소 형광을 검출하는 단계를 포함한다. 바람직하게는, 제2 측정 단계는 제1 펄스 유형의 복수의 광 펄스 및 제2 펄스 유형의 복수의 광 펄스를 포함하고, 상기 제2 펄스 형태의 광 펄스는 상기 제1 펄스 형태의 광 펄스 사이에서 발생하고, 여기서 바람직하게는 제1 펄스 유형과 제2 펄스 유형은 교대로 이루어진다. 제1 펄스 유형은 바람직하게는 낮은 값, 바람직하게는 실질적으로 오프 상태로부터 제1 높은 값으로 변조되는 광을 포함하고, 상기 제1 펄스 유형은 낮은 값으로 복귀하기 전에 제1 강도 및 지속 시간을 가지며, 제2 펄스 유형은 바람직하게는 동일한 낮은 값, 바람직하게는 실질적으로 오프 상태로부터 제2 높은 값(제1 높은 값과 동일하거나 다를 수 있음)으로 변조되는 광을 수반하며, 제2 측정 단계에서 제2 펄스 유형의 강도 및 지속 시간 중 적어도 하나, 바람직하게는 둘 다는 제1 펄스 유형의 강도 및 지속 시간과 상이하도록 한다.

[0059] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 엽록소 형광을 측정하는 방법이 제공되며, 상기 방법은 적어도 하나의 광원을 이용하여 제1 영역에 광을 조사하는 단계, 여기서 제1 영역을 조사하는 단계는 제1 측정 단계에서, 광은 제1 측정 단계의 제1 부분을 구성하고 낮은 평균 강도를 갖는 광의 하나 이상의 펄스를 정의하기 위해 강도가 변조되고, 제2 측정 단계에서, 광은 제1 측정 단계의 제1 비율과 다른 제2 측정 단계의 제2 비율을 구성하고 높은 평균 강도를 갖는 복수의 이산 펄스(discrete pulses)를 정의하기 위해 강도가 변조되도록 상기 제1 영역에 광을 조사하는 단계를 포함한다. 다시 말하지만, 측정 단계의 비율은 빛이 낮은 값(예를 들어 빛이 꺼진 상태)에 있는 시간과 비교하여 빛의 강도가 높은 값(예를 들어 빛이 켜져 있는 상태)에 있는 시간의 양을 나타낸다. 제2 측정 단계는 더 높은 평균 강도를 제공하기 위해 제1측정 단계보다 높은 강도 값에서 더 높은 비율을 가져야 한다. 예를 들어, 이러한 서로 다른 비율은 제2측정 단계의 펄스보다 낮은 주파수를 갖는 제1측정 단계의 펄스를 제공함으로써 제공될 수 있다. 바람직하게는 제2측정 단계의 펄스는 5~1000kHz, 바람직하게는 10~1000kHz, 보다 바람직하게는 10~500kHz의 주파수를 가지므로 식물의 생물학적 반응은 광 주파수에 의해 영향을 받지 않고 단지 평균 강도에 반응한다. 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일한 강도를 갖는다. 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일한 지속 시간을 갖는다. 바람직하게는, 제1 측정 단계의 광 펄스는 제2 측정 단계의 광 펄스와 동일하고, 서로 다른 듀티 사이클 비율을 제공하여 서로 다른 평균 강도를 제공하기 위해 주파수가 다르다. 이 실시예에서는 기존의 포화 펄스(현재 제2측정 단계와 동일)가 고주파수 펄스열(train of high frequency pulse)로 대체된다. 이러한 펄스는 F0 측정(현재 용어의 제1측정 단계)에 사용되는 측정 펄스와 동일할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0060] 이제 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 설명될 것이다.

도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 2는 본 발명의 제1 실시예에 따른 시스템의 사시도를 도시한다.

도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 시스템의 일부의 사시도를 도시한다.

도 4는 본 발명의 제1 실시예의 시스템 부분의 측면도를 도시한다.

도 5는, 시스템의 동작을 도시하는 흐름도이다.

그림 6은 시스템 작동 중 촬영된 측정 이미지이다.

도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 8은 본 발명의 제3 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 9는 본 발명의 제4 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 10은 본 발명의 제5 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 11은 본 발명의 제6 실시예에 따른 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 12는 엽록소 형광을 측정하는 첫 번째 방법의 시간에 따른 광세기를 나타낸 그래프이다.

도 13은 엽록소 형광을 측정하는 두 번째 방법의 시간에 따른 광세기를 나타낸 그래프이다. 그리고

도 14는 엽록소 형광을 측정하는 세 번째 방법의 시간에 따른 빛의 세기를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0061] 이제 본 발명의 제1 실시예가 도 1 내지 도 4를 참조하여 설명될 것이다.

[0062] 도 1은 시스템을 개략적으로 보여주며, 주요 구성 요소와 측정 시 해당 구성 요소의 사용을 보여준다. 상기 시스템(1)은 지지대(40)에 장착된 레이저(20)와 카메라(30)를 둘러싸는 돔형 하우징(10)을 포함한다. 상기 지지대는 액추에이터(50)와 연결되어 하우징(10) 내부의 지지체(40)를 이동시켜 레이저(20)와 카메라(30)가 향하는 방향을 변경시킨다. 상기 하우징은 또한 액추에이터, 레이저 및 카메라의 작동을 제어하는 컨트롤러(60)를 포함한다.

[0063] 도 1에 도시된 바와 같이, 돔형 하우징(10)은 하부 영역에서 자라는 식물의 캐노피(C) 위에 실질적으로 평평한 베이스에 의해 장착되어 하우징의 돔 부분이 아래쪽으로 돌출된다. 이러한 배열에서, 지지체(40)는 액추에이터(50)에 의해 조종되어 레이저(20)와 카메라(30)를 아래 캐노피(C)의 타겟에 향하게 한다. 상기 레이저(20)는 영역(21)에 빛을 조사하고 컨트롤러(60)에 의해 제어되어 측정 유형에 따라 포화 또는 측정 펄스를 방출한다. 상기 타겟은 시스템(1)으로부터 0.5~1m 사이에 있을 수 있으며, 이 거리의 레이저 스폿 크기는 직경이 약 2㎜일 수 있다. 카메라(30)는 레이저 광에 의해 조사된 영역(21)을 둘러싸는 캐노피의 시야(31)를 갖는다. 카메라는 0.5m에서 1m 사이의 거리에서 약 20cm^2의 캐노피 영역에 해당하는 시야를 가질 수 있다. 카메라(30)와 타겟 사이에는 필터(35)가 위치하여 타겟으로부터 방출되는 엽록소 형광의 빛은 카메라(30)에 의해 감지되고, 레이저 스폿(21)으로부터 반사된 빛은 필터(35)에 의해 필터링된다.

[0064] 도 2는 카메라(30)가 생략된 시스템을 더 자세히 도시하며, 돔형 하우징(10)이 투명한 돔형 커버(11)를 포함하며, 이 커버는 주변에 돌출된 테두리가 있는 원형 베이스(12)에 부착되어 있음을 보여준다. 상기 커버(11)는 커버(11)의 주변 립에 있는 나사 구멍(13)을 통해 연결되는 나사(도시되지 않음)에 의해 원형 베이스(12)에 부착되고, 커버(11)를 베이스(12)에 고정시킨다. 그런 다음 시스템의 나머지 구성 요소는 베이스(12)와 커버(11) 사이에 포함된 하우징 내에 포함되며 광학 구성 요소, 즉 레이저(20)와 카메라(30)는 여전히 투명 커버(11)를 통해 작동할 수 있다. 전체 시스템(1)은 나사 구멍(미도시) 또는 베이스(12)의 다른 부착 수단을 통해 천장과 같은 캐노피 위의 표면에 베이스(12)를 부착함으로써 캐노피 위에 장착될 수 있다.

[0065] 하우징(10) 내에는 제어 전자장치(60)가 포함된다. 여기에는 액추에이터(50)용 컨트롤러, 레이저(20)용 컨트롤러 및 카메라(30)용 컨트롤러가 포함되며, 이들은 시스템 아래 캐노피(C)에 있는 다양한 타겟에 대한 일련의 측정을 수행하도록 조정된다. 이러한 제어 전자 장치는 사용 중에 고정되도록 하우징(10)의 베이스(12)에 장착된다.

[0066] 또한 언급한 바와 같이 하우징(10) 내에는 레이저(20), 카메라(30), 지지체(40) 및 액추에이터(50)가 있으며, 이들은 도 3 및 도 4에 분리되어 도시되어 있다. 액추에이터(50)는 베이스(51)에 수용되는 원형 부분과 장착부

를 갖는 플랫폼(52)이 내부에 장착된 링형 베이스(51)를 포함한다. 장착 부분에는 플랫폼을 통해 중심 축을 통해 작동하고 바람직하게는 플랫폼을 360° 회전시킬 수 있는 팬 서보 모터(53)가 위치한다. 또한 축(54)을 통해 상기 플랫폼(52)에 틸트 서보 모터(55)가 장착된다. 틸트 서보 모터는 바람직하게는 플랫폼(52)에 대해 이러한 구성에서 90° 회전할 수 있다. 가변 요(yaw)와 피치(pitch)를 갖춘 이러한 유형의 액추에이터는 레이저와 카메라를 넓은 영역에 걸쳐 포인팅할 수 있으므로 작은 설치 공간으로 큰 캐노피를 측량할 수 있다. 돔-형의 하우징은 레이저와 카메라가 어디로 향하든 관계없이 그들은 그들과 타겟 사이의 하우징 영역에 항상 실질적으로 수직임을 보장한다.

[0067] 지지대(40)는 액추에이터(50)의 틸트 모터(55)의 하우징에 부착되고 필터(35)와 함께 레이저(20)와 카메라(30) 모두를 지지하는 성형 플라스틱 조각이다. 상기 지지체(40)는 특히 카메라 고정 부분(41)과 레이저 고정 부분(42)을 포함한다. 이는 레이저(20)와 카메라(30)가 모두 동일한 방향을 따라, 즉 서로 평행하게 향하도록 배열되며, 상기 레이저(20)는 카메라(30) 위에 몇 센티미터 간격으로 배치된다.

[0068] 카메라 유지부(camera-holding portion)(41)는 후면판으로부터 멀어지고 타겟을 향하는 카메라(30)가 부착되는 후면판(rear plate)(41a)을 포함한다. 이는 또한 카메라 경통 아래의 후면 플레이트(41a)로부터 전방으로 연장되는 2개의 암(41b)을 포함한다. 2개의 암은 전방 단부에서 필터 조립체(33)에 연결된다. 상기 필터 조립체는 암(41b)의 단부에 장착된 필터 모터(36)에 연결된 필터 휠(34)을 포함한다. 필터 모터(36)는 필터 휠(34)을 회전시켜 필터 휠 내의 필터(35) 또는 필터(37)가 카메라(30) 앞에 배치될 수 있도록 작동한다. 카메라 렌즈 앞에 장착되는 필터(35)는 카메라(30)가 650 내지 750 nm 범위의 형광을 측정할 수 있도록 650 nm 이하의 파장을 갖는 수직 입사광을 필터링하는 롱-패스 간섭 필터(long-pass interference filter)일 수 있으며, 650 내지 750nm 범위 밖의 모든 광을 차단하는 대역 통과 필터일 수 있다. 필터(37)는 PSI 또는 PSII 형광을 분리하여 획득하기 위해 650nm 내지 700nm 또는 700nm 내지 750nm의 대역 통과 필터와 같은 다른 필터일 수 있다. 대안적으로, 필터(35)는 650 nm 내지 700 nm의 대역 통과 필터이고 필터(37)는 700 nm 내지 750 nm의 대역 통과 필터(band-pass filter)일 수 있어 시스템이 PSI 및 PSII 형광을 서로 독립적으로 측정할 수 있게 한다.

[0069] 상기 지지체(40)의 레이저-홀딩 부분(laser-holding portion)(42)은 양쪽 끝이 개방된 실질적으로 원통형 슬리브이며, 레이저 빔이 방출되는 앞쪽 끝 부분에 더 작은 구멍을 포함한다. 레이저-홀딩 부분(42)은 개방된 전방 단부를 통해 전방을 가리키는 개방된 후방 단부에서 실질적으로 원통형인 레이저를 수용한다.

[0070] 레이저(20) 자체는 3mm의 빔 직경으로 약 450nm의 파장을 갖는 시준된 광을 방출하도록 구성되고, 평균 광합성 광자속 밀도(PPFD)가 8000 μmol $m^{-2}s^{-1}$인 타겟에 약 1초 동안 지속되는 포화 펄스를 전달할 수 있어야 한다. 또한 레이저는 1μs에서 10ms 사이에 지속되는 측정 펄스를 전달할 수 있어야 한다.

[0071] 카메라(30)는 4275 Burton Drive, Santa Clara, California 95054 USA의 OmniVision®에 의해 제조된 OV9281일 수 있다. 이 카메라는 6° x 4° 의 상대적으로 작은 화각(field of view)으로 구성될 수 있으며, 이는 신호의 노이즈를 줄이고 레이저가 조사되는 영역에 대한 감도를 높인다. 앞서 언급했듯이 카메라의 시야는, 시스템의 작동 범위 전체에서 레이저 스폿을 볼 수 있을 만큼 충분히 커야 한다. 레이저(20)와 카메라(30)가 서로 평행하게 향하는 실시예에서, 레이저 스폿은 무한대에서 시야의 중심에 있으며, 대상이 시스템에 가까울수록 시야의 상단에 더 가까워진다. 실제로 이전에 언급했듯이 카메라 시야 내 레이저 위치와 스폿 크기를 사용하여 타겟까지의 거리를 결정할 수 있다. 다른 실시예에서, 레이저와 카메라는 평행하지 않을 수 있으며 대신 그들이 가리키는 방향으로 작지만 고정된 각도를 정의하여 레이저 스폿이 시스템 작동 범위의 대략 중앙에 있는 카메라 시야의 중앙에 있도록 한다. 이로 인해 타겟까지의 거리에 따라 스폿이 카메라의 전체 시야에 걸쳐 이동할 수 있으므로 타겟까지의 거리를 측정할 때 더 높은 감도를 제공할 수 있다. 약 8° 의 각도가 카메라와 레이저의 일반적인 분리 거리와 0.5~1m 범위의 작동 거리에 적합한 것으로 밝혀졌다. 하지만 이는 작업 범위와 카메라와 레이저의 간격을 포함하여 특정 시스템 설치에 따라 필요에 따라 구성될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 다른 실시예에서는 레이저와 카메라 사이의 각도가 조정될 수 있다. 제어 시스템은 지점이 시야의 중심에 있을 때까지 레이저(20)와 카메라(30) 사이의 각도를 조정할 수 있으며, 그런 다음 레이저 스폿의 중심 맞춤을 달성하는 데 필요한 카메라와 레이저 사이의 각도에 의해 결정된 목표까지의 거리를 조정할 수 있다.

[0072] 도 5는 본 실시예에 따른 시스템의 기본 동작을 도시한 흐름도이다. 측정 프로세스가 시작되면, 단계 S100에서, 액추에이터(50)는 광원, 즉 레이저(20)와 센서, 즉 카메라(30)를 아래 캐노피(C)의 새로운 타겟에 향하게 하는 데 사용된다. 이 타겟은 예를 들어 제어 전자 장치(60) 내에 저장된 메모리에서 가져올 수 있으며 일반적으로 아래 캐노피에 있는 타겟의 2차원 배열 중 하나가 된다. 이는 타겟의 규칙적인 배열일 수 있다. 예를 들어 시스템에서 0.75m 거리에 있는 평면의 일반 정사각형 그리드에서 2차원으로 5cm마다 하나의 타겟이 될 수 있다. 대

안적으로, 타겟은 캐노피에 사전 프로그래밍된 관심 지점일 수 있다.

[0073] 이제 레이저와 카메라가 타겟을 향하였으므로, S200단계에서는 레이저를 이용하여 타겟에 빛을 조사한다. 일반적으로 측정 간격에 걸쳐 약 0.1 μmol $m^{-2}s^{-1}$ 정도의 낮은 목표에서 평균 PPFD를 제공하기 위하여, 제1측정(소위 F0 측정)은 일련의 펄스로 구성되며, 일례에서는 최대 6000 μmol m 2 s 1의 진폭, 0.1 μs ~ 100 μs의 펄스 폭 및 최대 10 s의 주기를 갖는다. 포화도를 측정하기 위해(소위 Fm 측정) 대신 포화 펄스가 전달된다. 포화 펄스의 강도는 다양할 수 있지만 한 예에서는 약 0.8초 간격으로 약 8000 μmol $m^{-2}s^{-1}$의 목표에서 평균 PPFD를 제공하도록 구성된다. 포화 펄스 자체는 낮은 진폭에서 높은 진폭까지의 일련의 펄스로 구성되고, 둘 다 범위는 8000~14000 μmol $m^{-2}s^{-1}$이고 펄스 폭은 0.1 μs~10 ms이고 주기는 10~100 ms이다.

[0074] 위에서 언급한 것처럼 필요한 조사 프로파일을 실행하기 전에, 상기 컨트롤러는 광원의 파워를 조절하기 전에, 타겟에 조사하고 센서의 시야 내 광원의 위치를 감지하여 타겟까지의 거리를 먼저 판단할 수 있고, 따라서 빔 발산의 결과로 거리에 따른 스폿 크기의 알려진 변화를 고려하고 빔에 대한 타겟의 경사각을 고려하여 올바른 PPFD에 도달한다.

[0075] 단계 S300에서는 카메라를 이용하여 타겟으로부터 형광을 검출한다. 이 단계는 단계 S200 이후에 도시되지만, 이들 단계는 조사 단계가 진행되는 동안 시간이 지남에 따라 카메라가 형광 수준을 연속적으로 감지하면서 대체로 병행하여 실행될 것이라는 점을 이해할 수 있을 것이다. 카메라는 이 단계에서 대상의 일련의 이미지를 촬영할 수 있으며 이는 다양한 측정 유형에 해당할 수 있다. 예를 들어, 광원은 초기에 F0 측정을 위해 더 낮은 에너지 펄스로 타겟을 조사할 수 있으며, 이 시간 동안 카메라는 일련의 이미지를 촬영할 수 있다. 그런 다음 광원은 Fm 측정을 위해 더 높은 에너지 펄스를 타겟에 조사할 수 있으며, 그 동안 카메라는 다시 일련의 측정 이미지를 촬영할 수 있다.

[0076] 도 6은 위에서 설명한 대로 대역 통과 필터를 통해 카메라를 사용하여 촬영한 측정 이미지 M을 보여준다. 일부 실시예에서, 상기 컨트롤러는 각 측정 이미지(M)에 대해 배경 보상 기술을 수행할 수 있다. 특히, 이 기술은 펄스 유도 형광(pulse-induced fluorescence)을 포함하는 타겟 영역 (M_T)를 식별하는 것과 관련된다. 이 영역은 일반적으로 광원의 예상 프로필에 일치하는 가장 밝은 영역으로 식별된다. 이 경우 타겟은 대략 원형 지점이 될 것으로 예상된다. 그러면 컨트롤러는 측정 영상(M)에서 배경 영역(M_B)를 식별한다. 일부 실시예에서, 배경은 단순히 타겟 영역(M_T) 외부의 전체 영역일 수 있고; 그러나 이 실시예에서 컨트롤러는 측정 이미지 중 타겟 영역 외부의 일부만 식별하여 배경 영역으로 사용한다. 이는 예를 들어 목표 영역에 인접한 비슷한 모양과 크기의 영역일 수 있거나 컴퓨터 비전 기술을 사용하여 목표 영역에 포함된 것과 동일한 식물 또는 잎의 일부를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 엽록소 형광으로 인한 것이 아닌 배경 조명을 보상하기 위해 컨트롤러는 배경 영역(M_B)에서 각 픽셀의 평균 강도를 결정한다. 그런 다음 컨트롤러는 엽록소 형광의 배경 조정된 측정값을 얻기 위해 타겟 영역(M_T)의 각 픽셀에서 이 평균 배경 강도를 뺄 수 있다.

[0077] 이 방법은 또한 도 6에 표시된 것처럼 이미지에서 엽록소 형광이 측정되는 이미지의 일부를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 전술한 바와 같이, 사용되는 광원은 일반적으로 플랫탑 방사조도 프로파일을 가지지 않기 때문에 레이저 광이 조사된 영역의 일부는 포화 임계값에 도달하지 못할 수 있다. 이에 따라, 타겟 영역(M_T)의 가장자리 영역이 형광 측정 데이터를 왜곡시킬 수 있다. 따라서, 컨트롤러는 카메라 이미지에서 요구되는 임계값을 만족하는 빛이 조사된 영역의 중앙 부분을 격리할 수 있으며, 엽록소 형광 측정은 위에서 설명한 대로 배경 조명을 보상하도록 선택적으로 조정하여 이 영역에서만 감지할 수 있다. 예를 들어 카메라에 보이는 조사 지점의 중앙 50%를 엽록소 형광 측정용으로 선택할 수 있다.

[0078] S400단계에서, 컨트롤러는 추가적으로 측정이 필요한 타겟이 있는지 확인한다. 존재하는 경우에는 S100 단계로 돌아가고, 컨트롤러는 S200 단계와 S300 단계를 반복하기 전에 광원과 센서를 새로운 타겟으로 향하게 한다. 남은 타겟가 없으면 프로세스가 종료된다.

[0079] 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예를 개략적인 형태로 도시한다. 이 실시예는 특히, 서로 다른 유형의 복수의 광원의 사용을 보여주고, 공통 타겟 영역을 조사하는 것을 예시한다. 단순화를 위해, 도 7에서는 지지체(40), 카메라(30), 필터(35) 및 복수의 광원만을 도시한다. 이 도면에는 실질적으로 전술한 바와 같을 수 있는 하우징(10), 액추에이터(50) 및 컨트롤러(60)가 생략되어 있다.

[0080] 이 실시예에서, 광원은 3개의 추가 광원(22a, 22b, 22c)과 함께 제1 실시예와 관련하여 앞서 설명한 것과 실질

적으로 동일한 레이저(20)를 포함한다. 이 실시예에서는 단지 3개의 추가 광원만이 도시되어 있지만, 더 많은 광원이 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0081] 이러한 추가 광원 각각은 관련 초점 광학 장치와 함께 LED이다. 각 LED는 동일한 측정 과정에서 함께 사용되도록 의도된 경우 레이저(20)와 동일한 파장의 빛(이 경우 약 450㎚)을 방출해야 한다. 이 경우 초점 광학 장치는 시준 렌즈를 포함하여 각 광원(22a, 22b, 22c)이 실질적으로 시준된 광을 방출하지만 또한 작업 범위의 중심에 있는 초점을 목표로 하는 수렴 광을 방출하기 위한 집광 렌즈, 또는 타겟 거리에 빛을 조정 가능하게 포커싱하기 위한 조정 가능한 렌즈 세트를 포함할 수 있다.

[0082] 추가 광원은 중앙에 위치한 카메라(30)로부터 각각 등거리에 있도록 카메라(30)를 둘러싸는 링 어레이로 배열된다. 일부 실시예에서, 각각의 교번 LED는 두 개의 파장 또는 파장 범위 중 하나를 가질 수 있으므로, 추가 광원은 두 개의 서로 다른 파장의 광을 사용하여 측정을 수행할 수 있다. 그러한 실시예에서, 이는 제2 파장을 갖는 제2 레이저에 의해 보완될 수 있고, 조정 가능한 필터 휠(35)이 또한 관심 있는 다양한 파장을 활용하는 다양한 유형의 측정을 수용하도록 제공될 수 있다.

[0083] 각 광원(22a, 22b, 22c)은 아래 캐노피의 각 영역(23a, 23b, 23c)을 조사한다. 대부분의 측정에서 조사된 영역은 부분적으로만 겹치며 이는 도 7에서 과장된 방식으로 설명된다. 광원은 서로 평행하게 조준될 수 있으며, 이 경우 점 분리 및 그에 따른 중첩은 광원의 간격과 빔 발산에 의해 결정된다. 대안적으로, 상기 광원은 시스템으로부터 미리 결정된 거리에서 완전히 중첩되도록 안쪽을 향할 수 있지만, 이러한 경우 광원은 이 미리 결정된 거리의 양쪽 측면에만 부분적으로 중첩된다. 또 다른 대안으로서, 광원은 그 스폿이 각 측정 거리에 대해 정렬될 수 있도록 조정될 수 있다.

[0084] 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 레이저(20)는 광원(22a, 22b, 22c)에 의해 조사되는 각 영역(23a, 23b, 23c)에 레이저 스폿(21)이 중첩되도록 지향된다. 따라서 캐노피의 일부 영역에는 각 광원(20, 22a, 22b, 22c)의 빛이 조사되며, 이 공통 영역이 카메라가 엽록소 형광을 감지하는 측정 타겟이 된다.

[0085] 광원(22a, 22b, 22c)은 일반적으로 레이저(20)보다 더 큰 빔 발산을 가질 것이다. 결과적으로, 타겟까지의 거리가 증가함에 따라 스폿 크기가 더 많이 증가하므로 타겟의 에너지 밀도는 더 조밀하게 시준된 레이저를 사용하는 경우보다 거리에 따라 더 감소한다. 이를 보상하기 위해 제어 전자 장치는 레이저 출력을 조정하여 타겟, 즉 레이저 지점 영역의 에너지 밀도가 측정에 필요한 수준으로 유지되도록 할 수 있다. 각 광원의 에너지 출력을 알 수 있으며, 빔 발산을 알면 각 광원에 대해 특정 거리에서 조사되는 영역의 크기를 결정하는 것이 가능하며 이를 통해 대상의 에너지 밀도를 결정할 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이, 타겟까지의 거리는 카메라의 시야 내 조사된 영역(들)의 위치 및/또는 크기에 의해 결정될 수 있으며, 레이저 스폿(21)은 거리를 결정하는 데 특히 바람직한다. 따라서, 제어 시스템은 일반적으로 타겟까지의 더 먼 거리에 따른 더 낮은 에너지 밀도를 보상하고 그에 따른 광원(22a, 22b, 22c)에 대한 더 큰 스폿 크기를 보상하기 위해 레이저의 출력을 증가시킬 수 있다. 따라서 제어 시스템은 작업 범위 내의 모든 거리에서 측정을 위한 목표 에너지 밀도를 달성할 수 있다.

[0086] 이제 추가 실시예가 도 8을 참조하여 설명될 것이다. 이 실시예는 특히 광원과 광학 센서의 동축 배열을 가능하게 하기 위한 빔 스플리터의 사용을 보여준다. 단순화를 위해, 도 8은 지지대(40)와 지지대에 운반되는 요소만을 도시한다. 이 도면에는 하우징(10), 지지대(40)를 이동시키는 액추에이터(50) 및 컨트롤러(60)가 생략되어 있으며, 이는 실질적으로 위에서 설명된 바와 같을 수 있다.

[0087] 이 실시예는 역시 레이저 형태의 광원(20)을 포함한다. 이 레이저는 빔 직경이 3㎜이고 파장이 약 450㎚인 시준된 빛을 방출하도록 구성되어 있으며 평균 광합성 광자속 밀도(PPFD)가 16000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$인 타겟에 약 1초 동안 지속되는 포화 펄스를 전달할 수 있어야 한다. 또한 레이저는 1 ㎲에서 1 ㎳ 사이에 지속되는 측정 펄스를 전달할 수 있어야 한다. 본 실시예의 레이저는 빔 스플리터의 사용으로 인해 이전 실시예보다 더 강력하다는 점에 유의해야 한다.

[0088] 레이저는 역시 지지대(40)에 운반되는 빔 스플리터(70)를 조사하기 때문에 더 높은 출력의 레이저가 필요하다. 도면에서 레이저는 수직 축을 따라 빛을 방출하며 빔은 45° 각도로 거울에 입사된다. 빔 스플리터는 예를 들어 반도금 거울일 수 있다. 빔 스플리터는 입사광의 50%가 빔 스플리터를 통해 투과되고 입사광의 50%가 반사되도록 최대한 가깝게 구성해야 한다. 본 구성에서는 빔 스플리터를 통해 투과된 레이저(20)의 광을 사용하여 타겟 영역(21)을 조사하므로 분할 빔이 타겟에서 필요한 에너지 밀도에 도달하기 위해서는 두 배의 조사 전력이 필요하다. 이 예에서는 빔 스플리터에 의해 수평축으로 반사되는 레이저(20)의 광이 사용되지 않는다.

[0089] 또한 지지대(40)에는 포토다이오드와 같은 비영상 광학 센서(30), 실질적으로 제1 실시예에 대해 설명한 바와

같은 필터 휠일 수 있는 광학 필터(35), 및 집광 렌즈(38)를 포함하는 광학 센서 장치가 지지된다. 이들 구성요소는 빔 스플리터의 다른 측면, 즉 도면의 수평축 및 레이저 광이 지향되지 않는 빔 스플리터(70)의 측면에 배열된다. 상기 집광 렌즈(condensing lens)(38)는 바람직하게는 샘플에 대한 거리 변화를 보상하기 위해 광학 센서(30)를 향하는 방향과 광학 센서(30)로부터 멀어지는 방향으로 이동 가능하도록 전동화된다. 이는 검출기의 작동 범위를 증가시키고 결과 신호를 향상시킨다. 전동식(motorised) 집광 렌즈는 예를 들어 카메라의 일부로서 또는 본 실시예에서와 같이 비영상 검출기로부터 이격되어 본 명세서에 설명된 실시예 중 어느 하나에 사용될 수 있다. 이러한 배열에 의해, 검출 가능 영역(31) 내의 엽록소 형광은 수직축의 빔 스플리터(70)에 입사되고, 빔 스플리터에 의해 수평축으로 반사된 빛은 광학 센서(30)를 향하게 된다. 이 수평 축으로 반사된 광은 빔 스플리터(70)로부터 반사된 광을 광학 센서(30) 쪽으로 집중시키도록 배열된 집광 렌즈(38)에 먼저 입사된다. 집광 렌즈(38)로부터 광학 센서(30)를 향해 집속된 빛은 광학 필터(35)를 통과하며, 이는 예를 들어 650nm 내지 750nm 범위 밖의 모든 광을 필터링할 수 있다. 따라서, 광학 센서(30)에 수신된 광의 강도는 타겟 영역(21)에서의 엽록소 형광 수준을 나타낼 것이다. 본 실시예의 집광 렌즈(38)는 필수적인 것이 아니며 광학 센서(30)와 필터(35)가 영역(31)으로부터 충분한 광을 수용할 만큼 충분히 크다면 생략될 수 있다는 점에 유의해야 한다. 추가적으로, 비영상 센서가 사용되는 동안, 카메라와 같은 영상 센서를 사용하는 것도 가능할 것이다. 그러나 시차(parallax)로 인해 해당 지점에 대한 깊이 인식(depth perception)이 손실된다.

[0090] 도 8에서 볼 수 있는 바와 같이, 레이저(20)와 광학 센서 장치를 중간 빔 스플리터(70)를 사용하여 수직 축에 장착하면 조사 방향과 감지 방향이 빔 스플리터(70)와 타겟(21) 사이에서 동축이 되도록 허용하고, 센서(30)에 의해 빛이 감지될 수 있는 영역(31)은 타겟까지의 거리에 관계없이 타겟(21)의 중심에 위치한다. 레이저(20), 필터(35) 및 집광 렌즈(38)와 함께 센서(30) 및 빔 스플리터(70)가 지지대(40) 상에 서로에 대해 고정 장착되어 있는 경우, 예를 들어 액추에이터(이 실시예에서는 도시되지 않음)에 의한 지지체의 움직임은 시스템을 이미지화할 서로 다른 타겟으로 향하게 할 수 있으며 타겟 영역의 빛은 대상의 위치에 관계없이 동일한 방식으로 센서(30)에 입사된다. 대안적으로, 동축 조사 및 센서 방향은 지지체(40)가 예를 들어 동축 광학 경로에 위치하는 스캐닝 미러 배열과 같은 조향 광학 장치에 의해 고정된 상태로 유지하면서 서로 다른 타겟으로 향할 수 있다.

[0091] 도 9는 도 8에 도시된 실시예의 변형을 도시한다. 도 8에서는 레이저로부터의 광은 빔 스플리터(70)에 입사할 때 이미 시준되지만, 이 실시예에서는 레이저는 발산 광원(22)과 집광 렌즈(38)로 대체되고 즉, 이 빛을 시준하기 위해 빔 스플리터를 통해 전달되는 빛의 경로에 있는 빔 스플리터(70)의 하류에 위치한다. 따라서 이 렌즈(38)는 또한 타겟 영역(21)으로부터의 엽록소 형광 광을 빔 스플리터(37)에 집중시키는데 사용되며, 여기서 광의 대략 절반은 필터(35)를 통해 광학 센서(30) 상으로 반사된다. 렌즈(38)의 투과된 초점에 광원을 위치시키고, 렌즈(38)의 반사된 초점에 광학 센서를 위치시킴으로써, 이 렌즈는 광원에서 나오는 빛을 시준하고 대상에서 나오는 빛을 광학 센서에 집중시키는 두 가지 목적을 수행한다.

[0092] 도 10은 시스템의 또 다른 실시예를 도시하는데, 이 경우 광섬유(81, 82)와 광섬유 커플러(71)를 사용하여 축상 조명 및 검출을 달성한다.

[0093] 이 실시예는 레이저 광원(20)을 포함하며, 이는 약 450nm의 파장과 3㎜의 빔 직경을 갖는 평행광을 방출하도록 구성되어야 하며, 평균 광합성 광자속 밀도(PPFD)가 최소 16000 μmol $m^{-2}s^{-1}$인 대상에 약 1초 동안 지속되는 포화 펄스를 전달할 수 있어야 한다. 광섬유의 손실에 따라 더 큰 전력이 필요할 수 있다. 이 레이저는 광섬유(81)의 제1단부(81a)에 빛을 주입한다. 이 광섬유는 광을 입력광을 분할하는 광섬유 커플러(71)로 전달하고, 가능한 한 가깝게, 50%는 제1 광섬유(81)의 제2 단부(81b)를 향해 계속되고, 50%는 제2 광섬유(82)로 지향되어 제2 광섬유(82)의 제2 단부(82b)를 향해 이동한다. 제2 광섬유(82)의 제2 단부(82b)를 향하는 광은 본 실시예에서 더 이상 사용되지 않는다.

[0094] 제1광섬유의 제2단부는 이동 가능한 플랫폼(40)에 장착된다. 섬유의 제2 단부는 섬유 콜리메이터(81c)에 결합되어 광섬유로부터 방출된 광이 타겟(21)을 향할 수 있는 실질적으로 시준된 광 빔으로 변환되도록 보장한다. 이러한 광섬유 콜리메이터(81c)는 광섬유의 단부에 부착된 별도의 구성요소일 수도 있고, 제1 광섬유(81)의 제2 단부(81b)에 통합될 수도 있다. 바람직하게는, 광섬유(81, 82)는 낮은 개구수(numerical aperture)를 갖도록 100 nm 정도의 직경을 갖는다. 상대적으로 좁은 광섬유와 낮은 개구수는 출력광의 긴밀한 시준을 보다 쉽게 달성할 수 있도록 보장한다. 이동 가능한 플랫폼은 액추에이터에 의해 이동될 수 있으므로 광 섬유의 끝과 콜리메이터를 이동하여 광을 다른 목표 영역에 제어 가능하게 지향시킬 수 있다.

[0095] 타겟(21)으로부터의 엽록소 형광은 광섬유 콜리메이터(81c)에 입사될 것이고, 이는 이 광을 광섬유의 제2 단부(81b)에 결합시키는 역할을 할 것이며, 그 결과 광섬유 커플러(71)로 전송될 것이다. 따라서 광섬유 커플러는

엽록소 형광을 분할하여 가능한 한 가깝게, 50%는 제1 광섬유(81)의 제1 단부(81a)를 향해 계속되고, 50%는 제2 광섬유(82) 내로 지향되어 제2 광섬유(82)의 제1 단부(82a)를 향해 이동한다.

[0096] 제2광섬유의 제1단부(82a)를 향해 이동하는 엽록소 형광은 650 nm ~ 750 nm 범위의 빛만 투과하도록 구성되어야 하는 섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating) 또는 박막 필터(35)를 통과하여 레이저에서 나오는 빛을 걸러sos다. 마지막으로, 필터링된 빛은 결합된 광학 센서(30)에 수신되어 엽록소 형광의 강도를 감지한다.

[0097] 도 11은 도 8에 도시된 실시예의 추가 변형을 도시한다. 비-이미징 광학 센서(30)에 더하여, 본 실시예는 영상 광학 센서(32), 즉 카메라를 포함한다. 비-이미징 광학 센서(30)는 동축 조사 및 센서 방향을 정의하기 위해 광 분할기(70)와 함께 배열되는 반면, 카메라(32)는 조사 방향에 대해 다른 각도로 배열된다. 본 실시예의 카메라(32)는 비-이미징 광학 센서(30)보다 더 넓은 시야를 가지며 비-이미징 광학 센서(30)의 시야(31)를 둘러싸는 시야(33)를 정의한다. 예를 들어, 비-이미징 광학 센서(30)는 200deg^2 이하의 영역으로부터 광을 수신할 수 있는 반면, 카메라(32)는 적어도 2000deg^2의 영역으로부터 광을 수신할 수 있다. 본 실시예에서는 카메라(32)도 지지대(40)에 장착되어 레이저(20) 및 비결상 광학 센서(30)와 함께 이동된다. 그러나 카메라는 넓은 시야를 가질 수 있으므로 광원과 광학 센서가 액추에이터에 의해 카메라에 대해 상대적으로 움직이도록 카메라를 고정적으로 장착하는 것도 가능하다. 본 실시예의 카메라는 다양한 기능을 위해 사용될 수 있다. 첫째, 카메라는 위에서 설명한 것과 동일한 시차 기술을 사용하여 대상까지의 거리를 결정할 수 있다. 둘째, 카메라는 배경이 아닌 작물에 레이저를 조사하는 등 레이저를 지시하고, 엽록소 형광이 측정되는 영역의 특성에 대한 정보를 제공하는 등 캐노피의 이미지를 구성하는 데 사용될 수 있다. 따라서 이 실시예는 이미징 센서와 비이미징 센서 모두의 장점을 제공할 수 있다. 위의 실시예 중 임의의 것이 엽록소 형광 측정을 위해 비영상 센서를 사용하고 카메라와 같은 별도의 영상 센서를 갖도록 수정될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0098] 도 12 내지 14는 특히 엽록소 형광 측정을 수행하기 위해 작물에 조사하는 데 사용되는 광원의 구동과 관련하여 위에서 설명한 실시예를 작동하는 다양한 방법을 보여준다.

[0099] 도 12는 첫 번째 측정 기법을 보여주는 그래프이다. y축은 PPFD, 즉 타겟 영역에 조사되는 빛의 진폭 또는 강도를 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 단위로 나타내고, x축은 시간을 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있듯이 제1측정 단계에서는 소위 F0 측정을 수행하기 위해 일련의 측정 펄스(ML)가 타겟에 조사된다. 각 측정 펄스는 초기 꺼진 상태에서 F0 측정을 위해 지정된 강도를 갖는 켜짐 상태로 빛을 전환함으로써 형성된다. 이러한 측정 펄스는 제1측정 단계에서 여러 번 반복될 수 있다. 각 측정 펄스의 PPFD는 약 6000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 이고 지속 시간은 약 1 μs ~ 10 ms이다. 각 펄스 사이의 주기는 0.1초에서 10초 사이일 수 있다. 제2측정 단계에서는 식물에 포화 펄스가 조사된다. 포화 펄스는 약 0.8초 동안 지속된다. 포화 펄스에서 빛은 처음에 약 8000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 의 제1진폭으로 켜지고 빛은 약 14000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 의 더 높은 진폭으로 펄스된다. 8000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 펄스에 중첩된 이러한 펄스는 약 1 μs ~ 10 ms의 지속 시간과 약 10 ms ~ 100 ms의 주기를 갖는다. 이는 위에서 설명한 측정 프로세스에 해당한다.

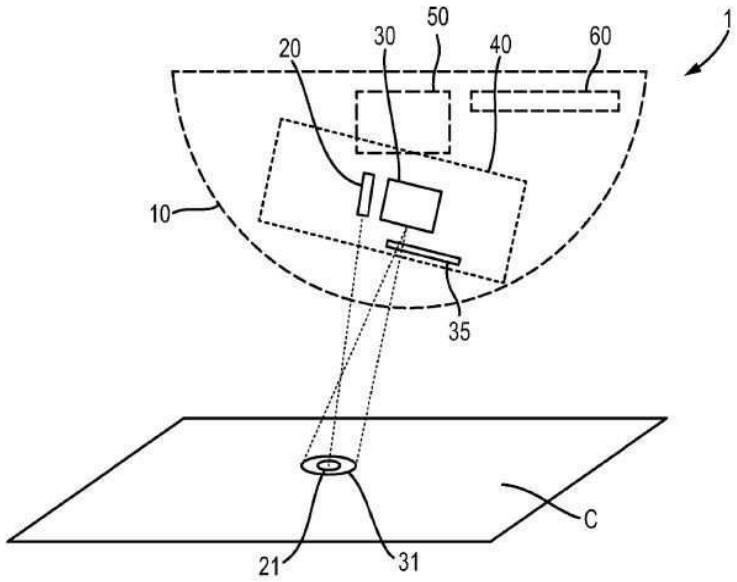
[0100] 도 13은 두 번째 측정 기법을 보여주는 그래프이다. 다시 말해, y축은 PPFD를 나타내고 x축은 시간을 나타낸다. 이 측정 프로세스는 F0를 측정하기 위한 제1측정 단계로 다시 시작된다. 이는 도 12와 관련하여 위에서 설명한 것과 동일할 수 있으며, 약 6000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 의 PPFD와 약 1 μs ~ 10 ms의 지속 시간을 갖는 하나 이상의 측정 펄스를 포함할 수 있다. 각 펄스 사이의 주기는 0.1초에서 10초 사이일 수 있다. 그러나 이 방법은 포화 펄스가 다르며, 이 경우 포화 펄스는 일련의 개별 펄스로 분할된다. 특히, 포화 펄스는 각각의 펄스가 0.1ms ~ 100ms 범위의 지속 시간과 약 2000 ~ 8000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$의 진폭을 갖는 일련의 첫 번째 펄스 및 각각의 펄스가 0.01 μs ~ 100 μs 범위(일반적으로 약 10 μs)의 지속 시간과 8000 ~ 24000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ 범위의 진폭을 갖는 일련의 두 번째 펄스로 대체된다. 이러한 펄스 사이의 진폭, 지속 시간 및 시간은 두 번째 측정 단계의 평균 PPFD가 8000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$이 되도록 설정된다. 첫 번째와 두 번째 펄스는 약 0.8초 동안 지속되는 두 번째 측정 단계 내에서 교대로 나타난다. 두 번째 펄스는 측정 펄스(ML)로, 첫 번째 펄스가 완료된 후 약 100 μs 후에 발생한다. 이 실시예에서, 첫 번째 펄스는 목표 영역에서 식물의 반응 중심의 포화를 유발하고, 두 번째 펄스는 소위 Fm 측정을 허용한다.

[0101] 도 14는 세 번째 측정 기법을 보여주는 그래프이다. 다시 말해, y축은 PPFD를 나타내고 x축은 시간을 나타낸다. 이 측정 프로세스는 F0 측정을 위한 제1측정 단계부터 다시 시작된다. 펄스 강도와 타이밍은 제1측정 단계에서

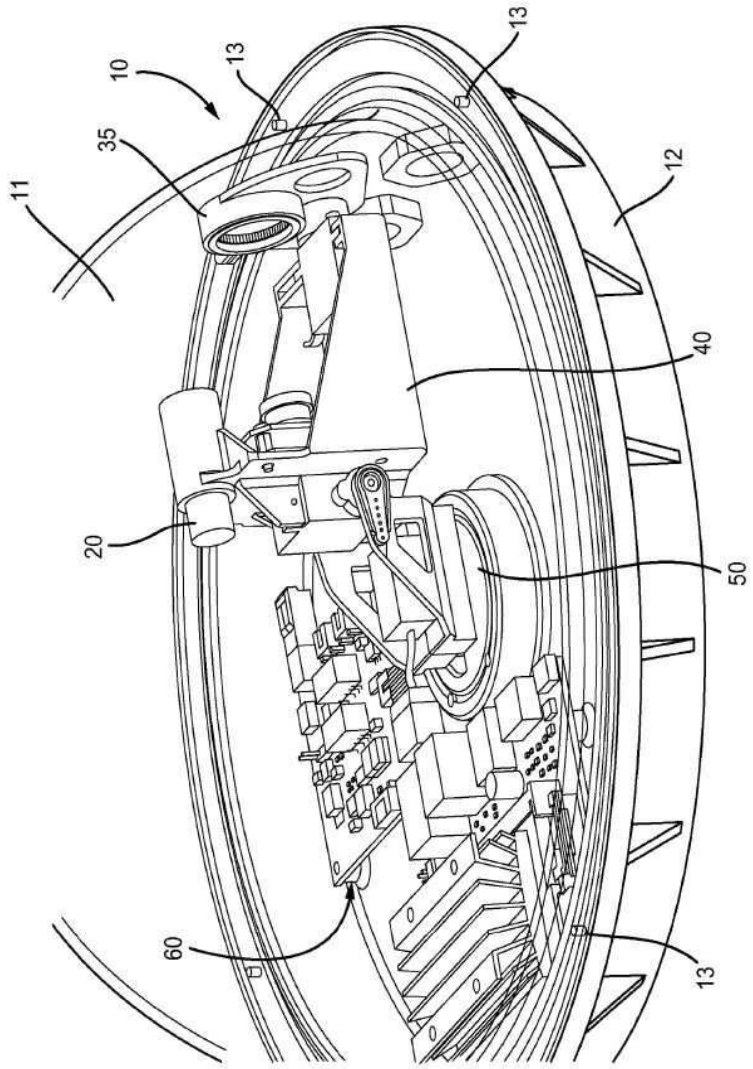
타겟에 전달되는 평균 PPFD가 0.1 μmol $m^{-2}s^{-1}$ 이하가 되도록 선택된다. 도 14에 표시된 것처럼 이는 첫 번째 측정 단계에 단 하나의 측정 펄스만 있는 경우도 있지만 첫 번째 주파수를 갖는 측정 펄스를 사용하여 달성할 수 있다. 두 번째 측정 단계는 첫 번째 측정 단계의 펄스와 동일한 강도 및 지속 시간을 갖는 일련의 펄스로 구성된다. 그러나 이제 펄스의 주파수는 첫 번째 측정 단계에 비해 증가하여 대상에 전달되는 평균 PPFD는 약 8000 μmol $m^{-2}s^{-1}$이다. 첫 번째 및 두 번째 측정 단계의 펄스는 동일한 강도와 지속 시간을 갖도록 설정되고 주파수만 다르므로 시스템 생산 및 제어가 단순화된다.

도면

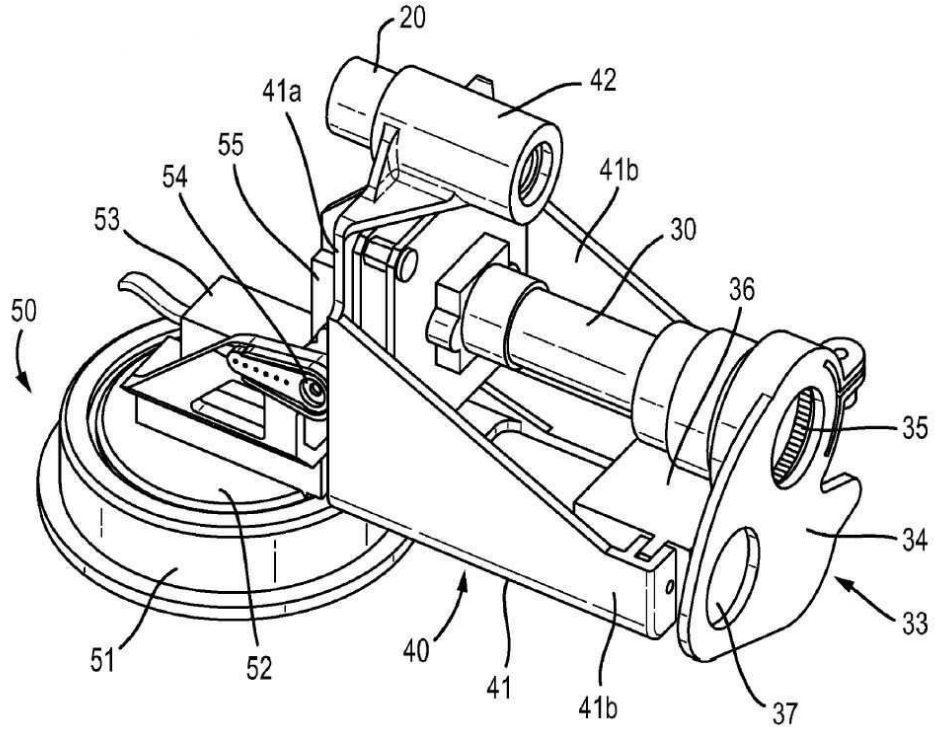
도면1



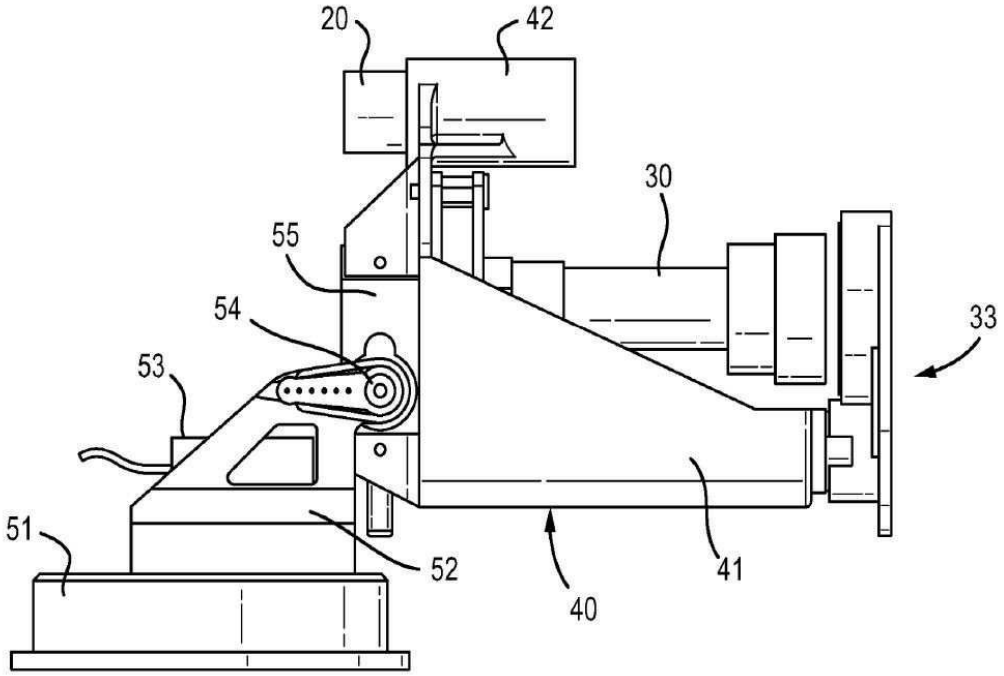
도면2



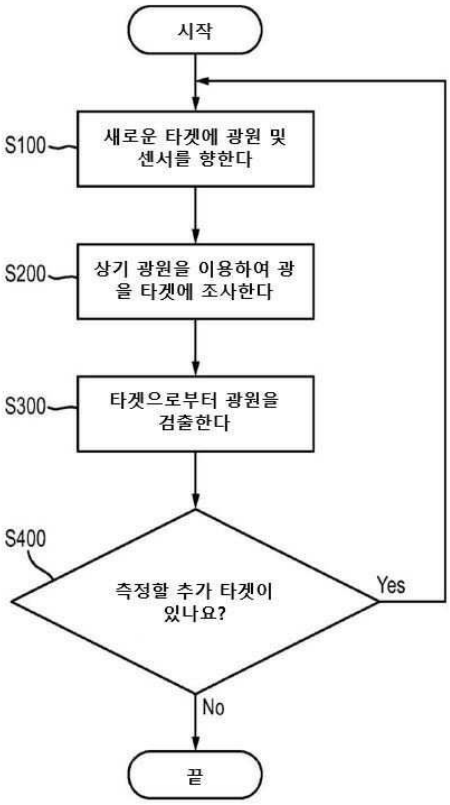
도면3


20
42
41a
55
54
53
41b
30
36
50
35
34
33
51
52
40
41
41b
37

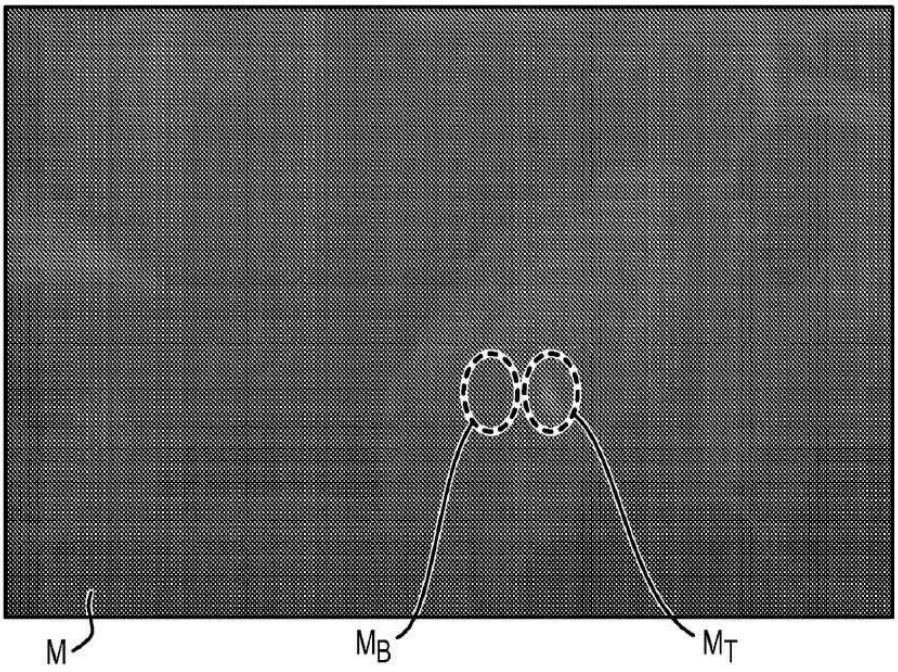
도면4


20
42
30
55
54
33
53
51
52
40
41

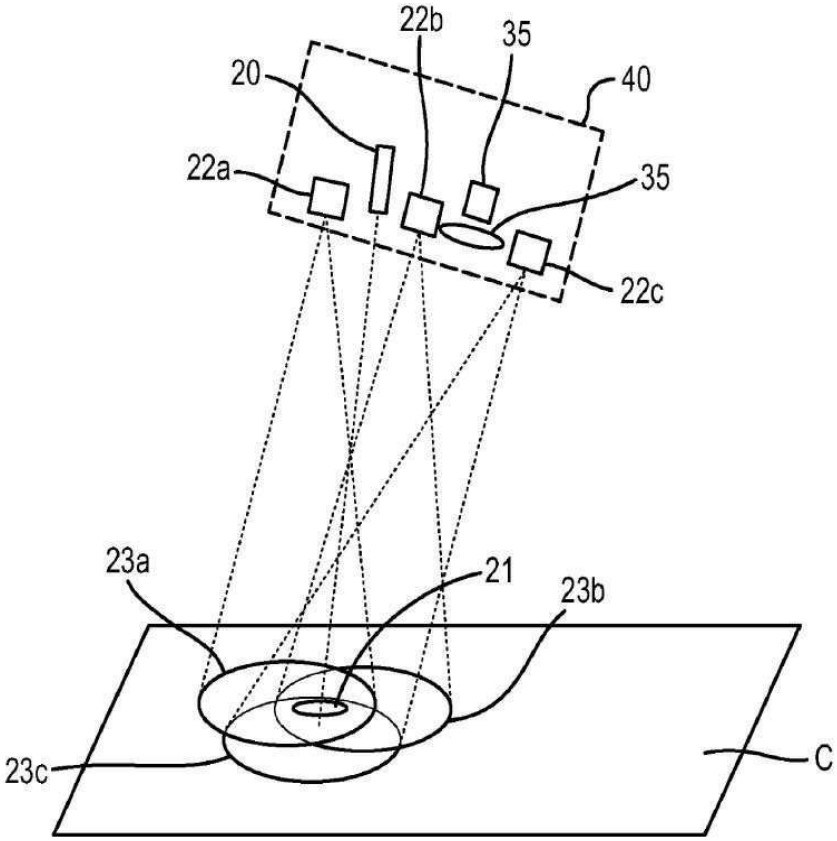
도면5


시작
S100
새로운 타겟에 광원 및 센서를 향한다
S200
상기 광원을 이용하여 광을 타겟에 조사한다
S300
타겟으로부터 광원을 검출한다
S400
측정할 추가 타겟이 있나요?
Yes
No
끝

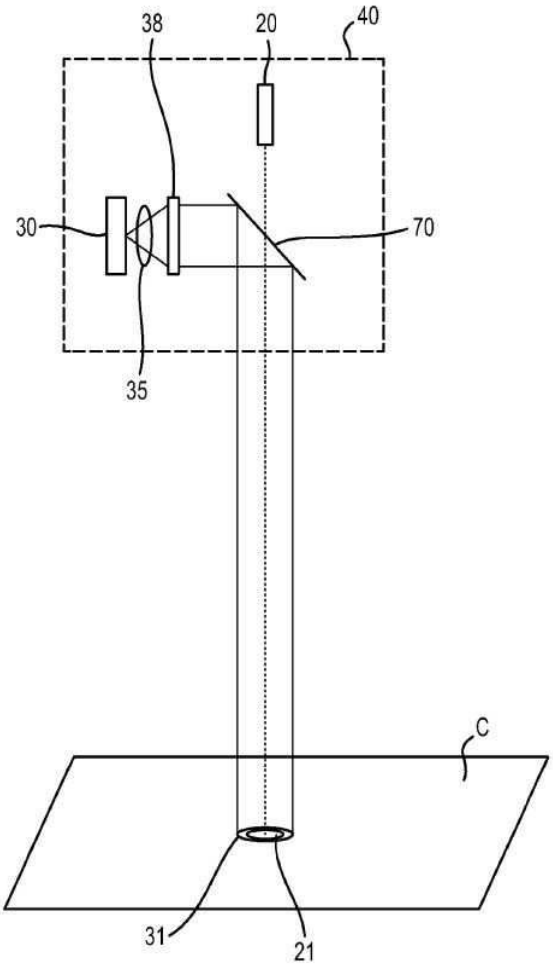
도면6


M
M_B
M_T

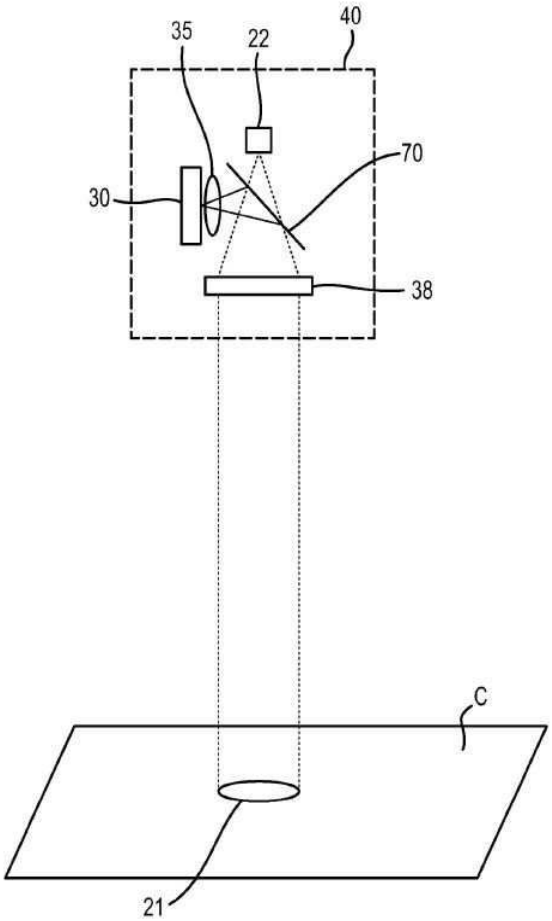
도면7



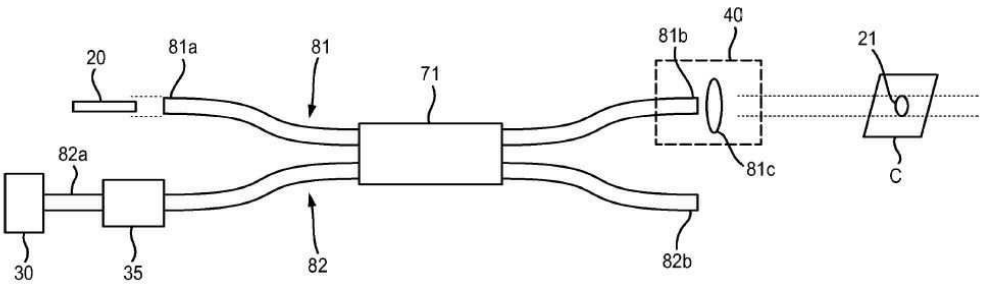
도면8



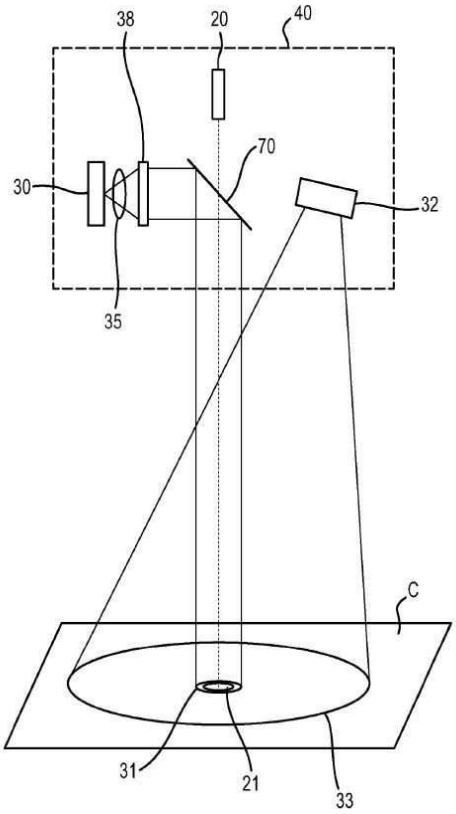
도면9



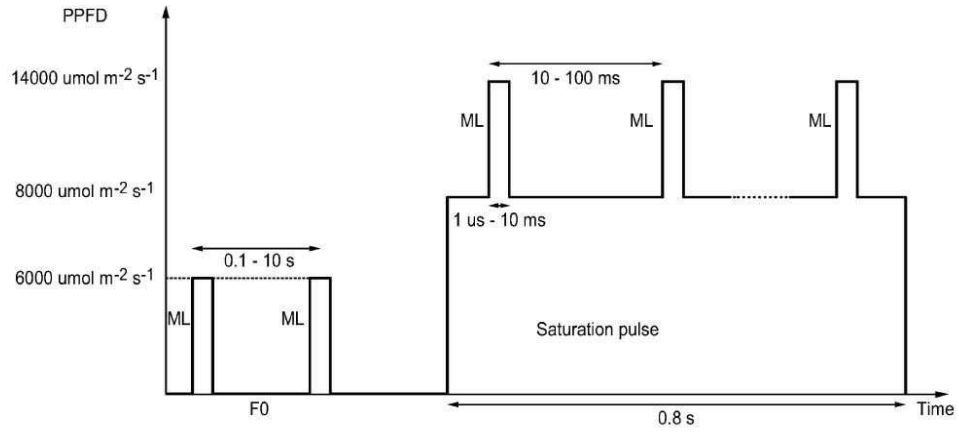
도면10



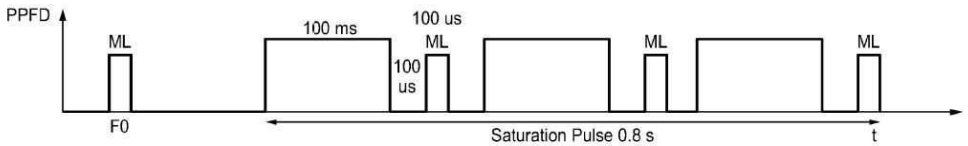
도면11



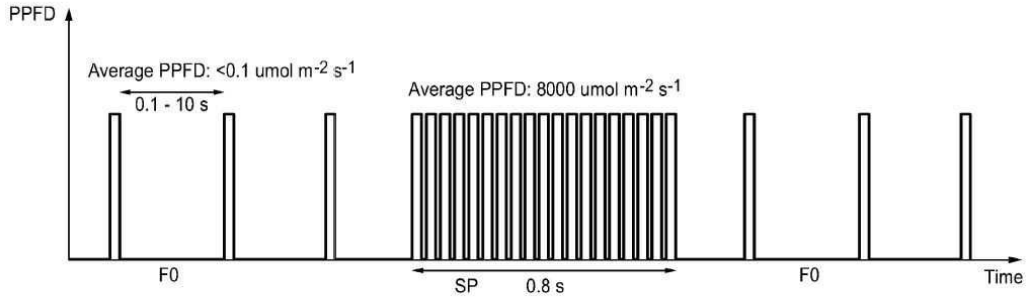
도면12



도면13



도면14


PPFD
Average PPFD: <0.1 umol m-2 s-1
0.1 - 10 s
Average PPFD: 8000 umol m-2 s-1
F0
SP
0.8 s
F0
Time