

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2025-0082976
(43) 공개일자 2025년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/02 (2024.01) A01G 7/00 (2019.01)

G06Q 50/10 (2012.01) G06T 7/00 (2017.01)

G06T 7/10 (2021.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/02 (2024.01)

A01G 7/00 (2019.02)

(21) 출원번호 10-2023-0171866

(22) 출원일자 2023년11월30일

심사청구일자 2023년11월30일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

박종석

대전광역시 서구 둔산로 201 국화아파트 302동 205호

전상기

대전광역시 유성구 대학로 163, 202호

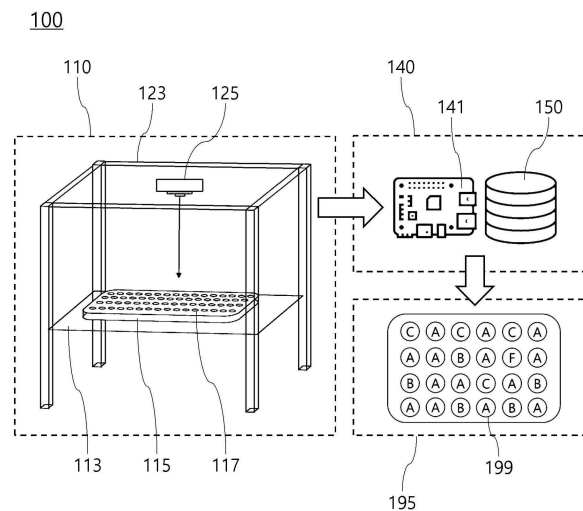
(74) 대리인

이은철, 김재문

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템 및 방법****(57) 요약**

생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에 관한 기술이 개시된다. 육묘 품질 판단 시스템은, 식물 재배부 이미지와 환경 데이터를 입력받고, 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출하고, 식물 개체 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터와 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출하고, 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터와 식물 개체의 생장과 관련된 데이터와 환경 데이터를 기계학습 모델에 입력하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측한다. 예측된 식물 개체의 생체중은 품질 등급으로 분류하여 사용자에게 제공될 수 있다. 본 발명에 의하면 저품질의 육묘를 조기에 선별할 수 있어서, 수직 농장의 재배 효율 및 생산성을 높일 수 있다.

대표도 - 도1

(52) CPC특허분류

G06Q 50/10 (2015.01)

G06T 7/0012 (2013.01)

G06T 7/10 (2021.01)

G06T 2207/20021 (2013.01)

G06T 2207/20081 (2013.01)

G06T 2207/30188 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에 있어서,

식물을 재배하는 식물 재배부를 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는 식물 재배부 이미지 입력부;

미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는 환경 데이터 입력부;

식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출하는 식물 개체 이미지 검출부;

식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출하는 식물 표현형 데이터 추출부;

식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출하는 식물 생장 데이터 추출부; 및

식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측하는 식물 생체중 예측부;

를 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 식물 재배부 이미지는,

식물 재배부 상부에 설치된 카메라 모듈을 이용하여 일정 시간 간격으로 촬영되는 탑뷰 이미지인,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 환경 데이터는,

온도 데이터, 습도 데이터, 광량 데이터, 양액 데이터 중 적어도 하나 이상의 데이터를 포함하고,

식물 재배부 이미지가 촬영되는 시간에 측정되는,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 식물 개체 이미지 검출부는,

식물 재배부 이미지로부터 식물 개체를 재배하는 화분을 검출하여 각 식물 개체의 위치를 결정하는 식물 화분 검출부; 및

식물 재배부 이미지로부터 각 식물 개체의 위치에 기초하여 각 식물 개체의 이미지를 분리하는 식물 이미지 분

할부;

를 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 식물 개체 이미지 검출부는,

분리된 각 식물 개체의 이미지로부터 식물 부분의 이미지만 추출하고, 추출된 식물 부분의 이미지를 이진화하는 식물 이미지 이진화부;

를 더 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 식물 화분 검출부는,

허프 원 검출 방법을 이용하여 각각의 식물 개체를 재배하는 원형 화분을 검출하는,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 식물 표현형 데이터 추출부는,

식물 개체의 이미지에서 투영 영역(Projected Area) 데이터, 볼록 껍질(Convex Hull) 데이터, 및 랜드마크(Land Mark) 데이터 중 적어도 하나의 데이터를 추출하는,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 식물 생장 데이터 추출부는,

서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들에 오픈컬 플로우 분석을 적용하고 복수의 좌표에 대한 생장량을 합하여 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출하는,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 정규화 방법으로 전처리하는 데이터 전처리부;

를 더 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 환경 데이터, 및 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 입력하여, 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 학습시키는 생체중 회귀 모델 학습부;

식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 학습된 기계학습 모델의 성능 지표를 산출하는 생체중 회귀 모델 성능 평가부; 및

복수의 기계학습 모델 중에서 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델을 선정하는 생체중 회귀 모델 결정부; 를 더 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 생체중 회귀 모델 결정부는,

성능 지표 중 결정 계수가 가장 높고, 평균 제곱근 오차(RMSE)가 가장 작은 회귀 모델을 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델로 선정하는,

육묘 품질 판단 시스템.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 식물 생체중 예측부에서 예측한 복수의 생체중 데이터를 정규화하고, 정규화된 생체중 값을 미리 정해진 기준에 따라 분류하여 식물 개체의 품질 등급을 결정하는 식물 품질 등급 분류부;

를 더 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

식물 개체의 품질 등급을 식물 재배부 이미지에 대응하여 출력하는 출력부;

를 더 포함하는, 육묘 품질 판단 시스템.

청구항 14

생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 수행하는 육묘 품질 판단 방법에 있어서,

식물을 재배하는 식물 재배부를 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는 식물 재배부 이미지 입력단계;

미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는 환경 데이터 입력단계;

식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출하는 식물 개체 이미지 검출단계;

식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출하는 식물 표현형 데이터 추출단계;

식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출하는 식물 생장 데이터 추출단계; 및

식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 성장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측하는 식물 생체중 예측단계;

를 포함하는, 육묘 품질 판단 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에 관한 것으로, 특히 재배중인 유묘의 이미지에서 추출한 데이터를 기계학습 모델에 입력하여 수확 시기의 생체중(무게)을 예측하고 육묘 품질을 판단함으로써 정확한 생장 예측이 가능하며 수직 농장의 재배 효율과 생산성을 높일 수 있는 육묘 품질 판단 시스템에 관한 것이다. 본 발명은 한국과학기술정보연구원(KISTI)과 충남대학교 간의 공동연구 과제(C23005)로 수행한 것이다.

배경 기술

[0002] 수직농장은 폐쇄적인 환경에서 환경을 제어하여 외부의 영향을 받지 않고 작물을 재배할 수 있는 우수한 시스템으로 인정받고 있다. 그러나, 수직농장의 초기 구축 비용과 운영 비용이 높아, 저품질의 작물 생산은 수직농장 운영에 큰 부담을 주게 된다. 이에 따라 재배작물의 품질을 향상시키기 위한 노력의 일환으로 수직농장에서 수집된 환경데이터와 이미지 데이터를 기반으로 작물의 생육을 예측하고, 수직농장 내 환경을 보다 정밀하게 제어할 수 있는 데이터 처리 방안이나 기계학습 알고리즘을 구현하기 위한 연구가 지속되고 있다.

[0003] 예를 들어, 2022년 04월 18일 공고된 한국등록특허 제10-2387765호는 "작물의 생육량 예측 방법 및 장치"에 관한 것으로, 순환 신경망을 이용해 시간적으로 누적된 데이터에 기반하여 작물의 생육 조건과 환경 요인에 따른 작물의 생육량을 예측하고, 예측된 생육량을 이용하여 생육량에 영향을 미치는 환경 요인들을 파악하고, 온실의 환경을 제어하는 자동화된 알고리즘을 제공하는 작물의 생육량 예측 방법 및 장치를 개시하고 있다. 개시된 작물 생육량 예측 장치는 수집한 작물 생육 특성과 환경 요인에 작물의 생육량을 태깅하여 시계열적인 학습 데이터를 생성하고, 학습 데이터로 생육량 예측 모델을 학습시키는 기술로 구현된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) KR 10-2387765 B1 (2022.04.18.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 목적은, 재배중인 유묘의 이미지 및 환경 데이터를 이용하여 수확 시기의 작물의 생체중(무게)을 예측할 수 있는 육묘 품질 판단 시스템을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 일 목적은, 조기에 저품질의 유묘를 선별할 수 있도록 재배중인 유묘의 품질 등급을 표시하는 육묘 품질 판단 시스템을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 또 다른 일 목적은, 수직 농장의 재배 효율을 높여 생산량을 최적화할 수 있는 육묘 판단 시스템을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 제안된 발명의 일 양상에 따르면, 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템은, 식물 재배부 이미지 입력부와,

환경 데이터 입력부와, 식물 개체 이미지 검출부와, 식물 표현형 데이터 추출부와, 식물 생장 데이터 추출부와, 식물 생체중 예측부를 포함한다. 육묘 품질 판단 시스템은, 식물 개체 이미지 저장부와, 데이터 전처리부와, 식물 품질 등급 분류부와, 출력부를 더 포함할 수 있다.

- [0010] 식물 재배부 이미지 입력부는 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는다. 식물 재배부 이미지는 식물을 재배하는 식물 재배부를 촬영한 이미지이다. 환경 데이터 입력부는 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는다. 식물 개체 이미지 검출부는 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출한다. 식물 표현형 데이터 추출부는 식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 생장 데이터 추출부는 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 개체의 생장과 관련된 데이터는 식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 추출할 수 있다. 식물 생체중 예측부는 기계학습 모델을 이용하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측한다. 기계학습 모델은, 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력받아서, 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된다.
- [0011] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 재배부 이미지는 식물 재배부 상부에 설치된 카메라 모듈을 이용하여 일정한 시간 간격으로 촬영되는 탑뷰 이미지이다.
- [0012] 추가적인 양상에 따르면, 상기 환경 데이터는, 온도 데이터, 습도 데이터, 광량 데이터, 양액 데이터 중 적어도 하나 이상의 데이터를 포함한다. 상기 환경 데이터는 식물 재배부 이미지가 촬영되는 시간에 측정된다.
- [0013] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 개체 이미지 검출부는, 식물 화분 검출부와, 식물 이미지 분할부를 포함한다.
- [0014] 식물 화분 검출부는 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체를 재배하는 화분을 검출하여 각 식물 개체의 위치를 결정한다. 식물 이미지 분할부는 식물 재배부 이미지로부터 각 식물 개체의 위치에 기초하여 각 식물 개체의 이미지를 분리한다.
- [0015] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 개체 이미지 검출부는 식물 이미지 이진화부를 더 포함할 수 있다. 식물 이미지 이진화부는 분리된 각 식물 개체의 이미지로부터 식물 부분의 이미지만 추출하고, 추출된 식물 부분의 이미지를 이진화한다.
- [0016] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 화분 검출부는 허프 원 검출 방법을 이용하여 각각의 식물 개체를 재배하는 원형 화분을 검출한다.
- [0017] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 표현형 데이터 추출부는, 식물 개체의 이미지에서 투영 영역(Projected Area) 데이터, 볼록 껍질(Convex Hull) 데이터, 및 랜드마크(Land Mark) 데이터 중 적어도 하나의 데이터를 추출한다.
- [0018] 추가적인 양상에 따르면, 상기 식물 생장 데이터 추출부는 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들에 엡티컬 플로우 분석을 적용하고, 복수의 좌표에 대한 생장량을 합하여, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다.
- [0019] 추가적인 양상에 따르면, 상기 육묘 품질 판단 시스템은, 데이터 전처리부를 더 포함한다. 데이터 전처리부는, 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 정규화 방법으로 전처리한다.
- [0020] 추가적인 양상에 따르면, 상기 육묘 품질 판단 시스템은, 생체중 회귀 모델 학습부와, 생체중 회귀 모델 성능 평가부와, 생체중 회귀 모델 결정부를 더 포함한다.
- [0021] 생체중 회귀 모델 학습부는 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 환경 데이터, 및 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 입력하여, 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 기계학습 모델을 학습시킨다.
- [0022] 생체중 회귀 모델 성능 평가부는 식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 학습된 기계학습 모델의 성능 지표를 산출한다. 생체중 회귀 모델 결정부는 복수의 기계학습 모델 중에서 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델을 생체중 데이터를 예측하는 기계학습 모델로 선정한다.
- [0023] 추가적인 양상에 따르면, 상기 생체중 회귀 모델 결정부는 성능 지표 중 결정 계수가 가장 높고, 평균 제곱근 오차(RMSE)가 가장 작은 회귀 모델을 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델로 선정한다.

- [0024] 추가적인 양상에 따르면, 상기 육묘 품질 판단 시스템은 식물 품질 등급 분류부를 더 포함한다. 식물 품질 등급 분류부는 상기 식물 생체중 예측부에서 예측한 복수의 생체중 데이터를 정규화하고, 정규화된 생체중 값을 미리 정해진 기준에 따라 분류하여 식물 개체의 품질 등급을 결정한다.
- [0025] 추가적인 양상에 따르면, 상기 육묘 품질 판단 시스템은 출력부를 더 포함한다. 출력부는 식물 개체의 품질 등급을 식물 재배부 이미지에 대응하여 출력한다.
- [0026] 제안된 발명의 다른 일 양상에 따르면, 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 수행하는 육묘 품질 판단 방법은, 식물 재배부 이미지 입력단계와, 환경 데이터 입력단계와, 식물 개체 이미지 검출단계와, 식물 표현형 데이터 추출단계와, 식물 생장 데이터 추출단계와, 식물 생체중 예측단계를 포함한다.
- [0027] 식물 재배부 이미지 입력단계에서는, 식물을 재배하는 식물 재배부를 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는다. 환경 데이터 입력단계에서는, 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는다. 식물 개체 이미지 검출단계에서는, 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출한다. 식물 표현형 데이터 추출단계에서는, 식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 생장 데이터 추출단계에서는, 식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 생체중 예측단계에서는, 식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측한다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템은 재배중인 유묘의 이미지 및 환경데이터를 이용하여 수확시기의 작물의 생체중을 예측할 수 있다.
- [0029] 또한, 생체중에 따른 유묘의 품질 등급을 표시하여 조기에 저품질의 유묘를 선별할 수 있다.
- [0030] 나아가 본 발명에 의하면, 수직 농장의 재배 효율을 높여 생산량을 최적화하고, 수직 농장의 경제성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 제1 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템의 주요 구성을 개략적으로 나타내는 개념도이다.
- 도 2는 제2 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템의 구체적인 구성을 나타내는 구성도이다.
- 도 3은 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 개체 이미지 검출부의 구성을 나타내는 구성도이다.
- 도 4는 제2 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 생체중 회귀 모델 결정부 및 관련 구성을 나타내는 구성도이다.
- 도 5는 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 화분 검출부의 동작을 설명하는 예시도이다.
- 도 6은 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 개체 이미지 검출부의 동작을 설명하는 예시도이다.
- 도 7은 제2 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 생장 데이터 추출부의 동작을 설명하는 예시도이다.
- 도 8은 제2 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 생체중 회귀 모델 결정부에서 결정된 생체중 회귀 모델의 예측 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 9는 일 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 10은 일 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 11은 일 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 기술한, 그리고 추가적인 양상들은 첨부된 도면을 참조하여 설명하는 실시예들을 통해 구체화된다. 각 실시예들의 구성 요소들은 다른 언급이나 상호간에 모순이 없는 한 실시예 내에서 또는 타 실시예의 구성 요소들과 다양한 조합이 가능한 것으로 이해된다. 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어는 기재 내용 혹은 제안된 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 본 명세서에서 모듈 또는 부분은, 컴퓨터 또는 프로세서에서 실행할 수 있도록 메모리에 저장된 프로그램 명령어의 집합이거나, 이러한 명령들을 수행할 수 있도록 ASIC, FPGA 등의 전자 부품 또는 회로의 집합을 이용하여 구현할 수 있다. 또한, 각 모듈 또는 부분의 동작은 하나 또는 복수의 프로세서 또는 장치에 의해 수행될 수 있다. 동일·유사한 부호가 표시된 구성요소는 동일·유사한 기능을 수행하므로, 설명을 생략할 수 있다. 설명이 생략된 도면부호를 가진 구성요소에 대해서는, 동일·유사한 부호를 가진 구성요소에 대해 앞에서 설명한 내용을 참조할 수 있다.
- [0033] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0034] 도 1은 제1 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템의 주요 구성을 개략적으로 나타내는 개념도이다.
- [0035] 도 1을 참조하면, 제1 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템(100)은, 식물 재배부 및 이미지 수집 장치(110)와, 육묘 품질 판단부(140)와, 출력부(195)를 포함한다.
- [0036] 식물 재배부 및 이미지 수집 장치(110)는 하부에 식물 재배부(113)를 포함한다. 식물 재배부에는 식물 화분(117)을 포함하는 트레이(115)가 장착될 수 있다.
- [0037] 식물 재배부 및 이미지 수집 장치(110)의 상부(123)에는 이미지 수집장치(125)가 설치된다. 이미지 수집장치(125)는 식물 재배부에 있는 식물들을 촬영한 식물 재배부 이미지를 육묘 품질 판단부(140)로 전달한다. 이미지 수집장치(125)는 라즈베리파이 카메라 모듈을 이용하여 구현할 수 있다.
- [0038] 육묘 품질 판단부(140)는 제어부(141)를 포함한다. 육묘 품질 판단부(140)는 저장부(150)를 더 포함할 수 있다. 제어부(141)는 프로세서 및 메모리를 포함하여, 육묘 품질 판단을 위한 동작을 수행할 수 있다. 메모리에는 프로세서가 수행하는 명령어 및 이미지 등이 저장된다. 제어부(141)는 이미지 수집장치(125)로부터 전달된 식물 재배부 이미지를 이용하여 식물 생체중(무게) 예측을 위한 동작을 수행한다. 식물 생체중 예측을 위해 기계학습 모델을 이용할 수 있다.
- [0039] 식물 재배부 이미지 및 식물 재배부 이미지를 처리하는 과정에서 생성된 식물 개체 이미지 등은 저장부(150)에 저장된다. 저장부(150)는 데이터베이스로 구성될 수 있다.
- [0040] 육묘 품질 판단부(140)의 결과는 출력부(195)로 출력된다. 도 1을 참조하면, 총 24개의 유묘에 대해, 육묘 품질 판단부(140)에서 A, B, C, F로 분류한 육묘 품질 등급이 출력부(195)에 표시되어 있다. A 등급(199)은 14개이고, B 등급은 5개이고, C 등급은 4개이고, F 등급은 1개이다. F 등급에 대해서는 조기에 폐기하고 다른 식물로 교체하여 재배 효율을 높일 수 있다.
- [0041] 작물 수확 데이터는 3~4주 전 작물의 생육상태에 영향을 받고, 현재 환경상태는 향후 재배 작물의 생육상태에 영향을 주고, 생육상태는 향후 재배작물의 수확량에 영향을 준다. 따라서, 수직농장 유묘의 탐부 이미지와 다양한 환경데이터를 수집하고, 일정 시간 간격으로 촬영된 유묘의 이미지를 분석하여 수치 데이터를 얻어서 기계학습 모델에 입력하면, 식물의 생체중을 예측할 수 있다.
- [0042] 도 2는 제2 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템의 구체적인 구성을 나타내는 구성도이다.
- [0043] 제안된 발명의 일 양상에 따르면, 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템(200)은, 식물 재배부 이미지 입력부(220)와, 환경 데이터 입력부(230)와, 식물 개체 이미지 검출부(240)와, 식물 표현형 데이터 추출부(260)와, 식물 생장 데이터 추출부(265)와, 식물 생체중 예측부(280)를 포함한다. 육묘 품질 판단 시스템(200)은, 식물 개체 이미지 저장부(250)와, 데이터 전처리부(270)와, 식물 품질 등급 분류부(290)와, 출력부(295)를 더 포함할 수 있다.
- [0044] 식물 재배부 이미지 입력부(220)는 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는다. 식물 재배부 이미지는 식물을 재배하는 식물 재배부를 촬영한 이미지이다. 식물 재배부 이미지는 식물 재배부 상부에 설치된 카메라 모듈을 이용하여 일정 시간 간격으로 촬영되는 식물의 탐부 이미지이다. 특

히 수확 시기의 생체중을 조기에 예측하기 위해 유묘(어린 묘목)에 대해 이미지를 촬영하는 것이 바람직하다. 일정한 시간 간격은 예를 들어 12시간으로 정할 수 있다. 이 경우 12시간마다 식물 재배부에서 이미지를 촬영한다. 이미지 촬영은 라즈베리파이 4B 카메라 모듈을 이용하여 일정 시간 간격으로 수행한다. 카메라 모듈은 식물의 탐부 이미지를 촬영하여 식물 재배부 이미지 입력부(220)로 전달한다.

[0045] 환경 데이터 입력부(230)는 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는다. 환경 데이터는, 온도 데이터(도C), 습도 데이터(%), 광량 데이터(PPFD, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), 양액(전기전도도, uS/cm) 데이터 중 적어도 하나 이상의 데이터를 포함한다. 상기 환경 데이터는 식물 재배부 이미지가 촬영되는 시간에 측정된다. 앞의 예에서, 12시간마다 환경 데이터도 측정하여 입력한다. 환경 데이터는 수직 농장 내의 아두이노를 통해 수집하여 환경 데이터 입력부(230)로 전달한다.

[0046] 입력된 식물 재배부 이미지와 환경 데이터는 식물 개체 이미지 저장부(250)에 저장할 수 있다. 식물 개체 이미지 저장부(250)는 라즈베리 파이의 데이터베이스로 구성할 수 있다.

[0047] 식물 개체 이미지 검출부(240)는 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출한다. 식물 개체 이미지 저장부(250)는 식물 개체 이미지 검출부(240)에서 검출된 식물 개체 이미지를 저장할 수 있다.

[0048] 식물 표현형 데이터 추출부(260)는 식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 표현형 데이터 추출부(260)는, 식물 개체의 이미지에서 투영 영역(Projected Area) 데이터, 볼록 껍질(Convex Hull) 데이터, 및 랜드마크(Land Mark) 데이터 중 적어도 하나의 데이터를 추출한다. 이러한 값들은 Python의 OpenCV 라이브러리를 이용하여 구할 수 있다.

[0049] 식물 생장 데이터 추출부(265)는 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다. 식물 개체의 생장과 관련된 데이터는 식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 추출할 수 있다. 식물 생장 데이터 추출부(265)는 옵티컬 플로우(Optical flow), 법선 벡터(Normal vector), 옵티컬 플로우의 합인 전체 벡터(Whole vector) 데이터 중 적어도 하나의 데이터를 추출한다. 식물 생장 데이터 추출부(265)는 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들에 옵티컬 플로우 분석을 적용하고, 복수의 좌표에 대한 생장량을 합하여, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다.

[0050] 앞의 예에서, 식물 표현형 데이터 추출부(260)는 12시간 간격으로 촬영된 유묘의 이미지로부터 투영 영역(Projected Area) 데이터, 볼록 껍질(Convex Hull) 데이터, 및 랜드마크(Land Mark) 데이터를 구하고, 식물 생장 데이터 추출부(265)는 12시간 간격으로 촬영된 유묘의 시계열 이미지에서 옵티컬 플로우, 법선 벡터 등을 구한다. 이러한 데이터들은 전부 수치화 가능한 데이터들로, 마찬가지로 수치화 가능한 환경 데이터와 함께 기계학습 모델에 입력할 수 있다.

[0051] 데이터 전처리부(270)는, 데이터들을 기계학습 모델에 입력하기 위하여, 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 정규화 방법으로 전처리한다. 알려져 있는 다양한 정규화 방법을 사용할 수 있으나, 최소-최대(min-max) 정규화를 사용하는 것이 간편하며 효율적이다. min-max 정규화를 위해 데이터값(x)에서 최소값(min)을 빼주고, 최대값과 최소값의 차이로 나누어 준다. 즉, 데이터 값 x 를 0 에서 1 사이에 정규화된 값 $(x - \min) / (\max - \min)$ 으로 변환한다.

[0052] 식물 생체중 예측부(280)는 기계학습 모델을 이용하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측한다. 기계학습 모델은, 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력받아서, 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된다.

[0053] 식물 품질 등급 분류부(290)는 상기 식물 생체중 예측부에서 예측한 복수의 생체중 데이터를 정규화하고, 정규화된 생체중 값을 미리 정해진 기준에 따라 분류하여 식물 개체의 품질 등급을 결정한다. 예를 들어, 유묘에 대해 예측된 생체중 값 y 를 min-max 정규화 하여 0 에서 1 사이 값으로 변환한 후, 0.2 단위로 나누어서 ABCDF 등급으로 분류할 수 있다.

[0054] 출력부(295)는 식물 개체의 품질 등급을 식물 재배부 이미지에 대응하여 출력한다. 라즈베리파이를 이용하는 경우 전용 디스플레이에 출력하여 육묘의 품질을 사용자에게 알려주어, 선택적인 재배가 가능하다.

[0055] 도 3은 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 개체 이미지 검출부의 구성을 나타내는 구성도이다.

[0056] 도 3을 참조하면, 식물 개체 이미지 검출부(240)는, 식물 화분 검출부(243)와, 식물 이미지 분할부(245)를 포함

한다. 식물 개체 이미지 검출부(240)는 식물 이미지 이진화부(247)를 더 포함할 수 있다.

- [0057] 식물 화분 검출부(243)는 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체를 재배하는 화분을 검출하여 각 식물 개체의 위치를 결정한다. 식물 화분 검출부는 허프 원 검출 방법을 이용하여 각각의 식물 개체를 재배하는 원형 화분을 검출한다. 허프 원 검출은 Python의 OpenCV 라이브러리를 이용하여 수행할 수 있다.
- [0058] 식물 이미지 분할부(245)는 식물 재배부 이미지로부터 각 식물 개체의 위치에 기초하여 각 식물 개체의 이미지를 분리한다.
- [0059] 식물 이미지 이진화부(247)는 분리된 각 식물 개체의 이미지로부터 색상을 기초로 식물 부분의 이미지만 추출하고, 추출된 식물 부분의 이미지를 이진화한다. 이진화된 각각의 식물 개체 이미지는 식물 개체 이미지 저장부(250)에 저장할 수 있다.
- [0060] 도 4는 제2 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 생체중 회귀 모델 결정부 및 관련 구성을 나타내는 구성도이다.
- [0061] 도 4를 참조하면, 육묘 품질 판단 시스템(200)은, 생체중 회귀 모델 학습부(273)와, 생체중 회귀 모델 성능 평가부(275)와, 생체중 회귀 모델 결정부(277)를 더 포함한다.
- [0062] 생체중 회귀 모델 학습부(273)는 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 환경 데이터, 및 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 입력하여, 수확 시기의 식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 기계학습 모델을 학습시킨다. 학습에 사용하는 회귀 모델은 알려진 모든 회귀 모델을 사용할 수 있다. 예를 들어, 의사결정트리(Decision Tree), 랜덤포레스트(Random Forest), 서포트 벡터(Support Vector Regression; SVR), XGB(Extreme Gradient Boosting), 다중 회귀(Polynomial Regression) 등을 사용할 수 있다.
- [0063] 생체중 회귀 모델 성능 평가부(275)는 식물 개체의 생체중 데이터를 예측하도록 학습된 기계학습 모델의 성능 지표를 산출한다.
- [0064] 생체중 회귀 모델 결정부(277)는 복수의 기계학습 모델 중에서 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델을 생체중 데이터를 예측하는 기계학습 모델로 선정한다.
- [0065] 생체중 회귀 모델 결정부(277)는 성능 지표 중 결정 계수가 가장 높고, 평균 제곱근 오차(RMSE)가 가장 작은 회귀 모델을 성능 지표가 가장 우수한 기계학습 모델로 선정할 수 있다.
- [0066] 도 5는 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 화분 검출부의 동작을 설명하는 예시도이다.
- [0067] 도 5의 (a)는 식물 재배부 이미지 입력부(220)를 통해 입력된 식물 재배부 이미지를 나타낸다. 도 5의 (b)는 식물 화분 검출부(243)가 허프 원 검출 방법을 이용하여 각각의 식물 개체를 재배하는 원형 화분을 검출한 이미지를 나타낸다.
- [0068] 도 5의 (b)에서 초록색 원은 원형 화분의 위치를 나타내고, 초록색 원의 중심에 있는 붉은 점은 각 식물 개체의 기준점을 나타낸다. 기준점을 중심으로 각각의 식물 개체에 대해 식물 개체 이미지를 얻을 수 있다.
- [0069] 도 6은 제2 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 개체 이미지 검출부의 동작을 설명하는 예시도이다.
- [0070] 도 6의 (a)는 식물 개체 이미지 검출부(240)의 식물 이미지 분할부(245)에 의해서 개개의 식물이 분할된 식물 개체 이미지를 나타내는 예시도이다. 도 6의 (b)와 (c)는 식물 개체 이미지 검출부(240)의 식물 이미지 이진화부(247)에서 식물 개체 이미지에서 식물 부분을 이진화하는 방법을 설명하는 예시도이다.
- [0071] 도 6의 (a)에서 개개의 식물 개체 이미지에서 화분의 흙 등을 제외하고 식물 부분의 이미지만 세그멘테이션(segmentation)하기 위해서, 예를 들어 이미지의 칼라값(RGB) 중에서 식물의 잎의 색 영역인 녹색(G) 값의 일정 범위만 추출할 수 있다. 이렇게 구한 이미지가 도 6의 (b)에 도시되어 있다. 도 6의 (c)는 도 6의 (b) 이미지를 이진화하고 반전한 이미지이다. 도 6의 (c)와 같이 이진화된 이미지를 사용하면, 오픈컬 플로우 산출 등 추가적인 이미지 처리를 고속으로 정확하게 할 수 있는 이점이 있다.
- [0072] 도 7은 제2 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 식물 생장 데이터 추출부의 동작을 설명하는 예시도이다.

- [0073] 도 7의 (a)는 초기의 식물 개체 이미지를 나타내고, 도 7의 (b)는 초기로부터 48시간 경과후의 식물 개체의 이미지를 나타낸다. 도 7의 (c)는 식물 생장 데이터 추출부(265)에서 두 이미지 간의 옵티컬 플로우를 계산한 결과를 나타낸다. 도 7의 (c)에서 녹색 화살표는 식물의 생장에 따라 식물의 움직임을 나타내는 옵티컬 플로우(Optical flow)를 나타내고, 파란색 화살표는 법선 벡터(Normal vector)를 나타낸다. 흰색 화살표는 움직임이 발생한 전체 옵티컬 플로우의 합 벡터(Whole vector)를 나타낸다.
- [0074] 도 8은 제2 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 생체중 회귀 모델 결정부에서 결정된 생체중 회귀 모델의 예측 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0075] 도 8에서 가로축은 $N=144$ 개의 식물에 대해 수확 시기에 실제 측정된 생체중을 나타내고, 세로축은 서포트 벡터 회귀(Support Vector Regression; SVR)를 사용하여 예측된 생체중을 나타낸다. 상관관계수 R 이 0.8이상이면 강한 상관관계를 나타내는데, 도 8에서 $R=0.8416$ 으로 0.8보다 크므로, SVR로 예측된 생체중은 실제 측정된 생체중과 강한 상관관계가 있다. 따라서, SVR 모델을 생체중 예측 모델로 사용하는 것이 가능하다.
- [0076] 이하에서는 앞에서 설명한 육묘 품질 판단 시스템에서 수행하는 육묘 품질 판단 방법에 대하여 설명한다. 중복을 피하기 위해 생략된 부분은, 앞의 육묘 품질 판단 시스템에서 대응되는 설명을 참조할 수 있다.
- [0077] 도 9는 일 실시예에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0078] 제안된 발명의 다른 일 양상에 따르면, 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 시스템에서 수행하는 육묘 품질 판단 방법은, 먼저 시간을 측정하여(S910) 일정한 측정 주기에 해당하는지 확인한다(S915). 측정 주기가 되지 않았으면, 되돌아가 대기를 반복한다. 측정 주기가 되었으면, 식물 재배부 이미지(S920)와, 환경 데이터(S930)를 입력받는다. 식물 재배 이미지로부터 식물 개체 이미지를 검출한다(S940). 검출된 이미지는 식물 개체 이미지 저장부에 저장할 수 있다. 식물 개체 이미지로부터 식물 표현형과 관련된 데이터를 추출하고(S960), 식물 생장과 관련된 데이터를 추출한다(S965). 식물 표현형과 관련된 데이터와, 식물 생장과 관련된 데이터와, 환경 데이터를 정규화 등으로 전처리한다(S970). 전처리된 데이터는 기계학습된 모델에 입력하여 수확 시기의 생체중을 예측한다(S980). 예측된 생체중을 이용하여 식물 품질 등급을 분류할 수 있다(S990). 분류된 식물 품질 등급은 출력부를 통해 사용자에게 출력될 수 있다(S995).
- [0079] 식물 재배부 이미지 입력단계(S920)는, 식물 재배부 이미지 입력부(220)에 의해 수행되며, 식물을 재배하는 식물 재배부를 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 촬영한 식물 재배부 이미지를 입력받는다.
- [0080] 환경 데이터 입력단계(S930)는, 환경 데이터 입력부(230)에 의해 수행되며, 미리 정해진 일정한 시간 간격으로 수집된 식물 재배부의 환경 데이터를 입력받는다.
- [0081] 식물 개체 이미지 검출단계(S940)는, 식물 개체 이미지 검출부(240)에 의해 수행되며, 식물 재배부 이미지로부터 식물 개체의 이미지를 검출한다.
- [0082] 식물 표현형 데이터 추출단계(S960)는, 식물 표현형 데이터 추출부(260)에 의해 수행되며, 식물 개체의 이미지에 기초하여 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터를 추출한다.
- [0083] 식물 생장 데이터 추출단계(S965)는, 식물 생장 데이터 추출부(265)에 의해 수행되며, 식물 개체에 대해 서로 다른 시간에 검출된 복수의 식물 개체의 이미지들로부터 식물 개체의 생장과 관련된 데이터를 추출한다.
- [0084] 식물 생체중 예측단계(S980)는, 식물 생체중 예측부(280)에 의해 수행되며, 식물 개체의 생체중을 예측하도록 학습된 기계학습 모델에 식물 개체의 표현형과 관련된 데이터, 식물 개체의 생장과 관련된 데이터, 및 환경 데이터를 입력하여 수확 시기의 식물 개체의 생체중을 예측한다.
- [0085] 도 10은 일 실시예의 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0086] 식물 재배 이미지로부터 식물 개체 이미지를 검출하는 방법(S940)을 구체적으로 살펴보면, 식물 화분 검출부(243)에 의해 식물 재배 이미지로부터 식물 화분을 검출하고(S943), 식물 이미지 분할부(245)에 의해 개개의 식물 이미지를 분할하고(S945), 식물 이미지 이진화부(247)에 의해 분할된 식물 이미지를 이진화 하여, 식물 개체 이미지를 검출할 수 있다. 검출된 식물 개체 이미지는 식물 개체 이미지 저장부(250)에 저장할 수 있다.
- [0087] 도 11은 일 실시예의 다른 변형에 따른 생장 예측을 고려한 육묘 품질 판단 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0088] 도 11을 참조하면, 육묘 품질 판단 방법은 회귀 모델(S979)을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 이를 위해 식물 표현형과 관련된 데이터(S962)와, 식물 성장과 관련된 데이터(S964)와, 환경 데이터(S966)와, 수확 시기의 생체

중 데이터(S968)를 입력받고, 입력된 데이터들은 데이터 전처리부(270)에 의해 정규화되는 전처리가 수행된다(S970). 생체중 회귀 모델 학습부(273)에 의해, 전처리된 데이터들은 회귀 모델에 입력되어 회귀 모델이 학습된다(S973). 생체중 회귀 모델 성능 평가부(275)에 의해, 학습된 회귀 모델의 성능 평가 지표가 구해진다(S975). 생체중 회귀 모델 학습부(273)는 모든 회귀 모델에 대해서 평가가 완료되었는지 확인하여(S977), 아직 평가되지 않은 회귀 모델이 있으면, 학습 대상 회귀 모델을 변경하여(S978) 다시 새로운 회귀 모델을 학습시킨다(S973). 모든 회귀 모델에 대해서 평가가 완료된 경우, 생체중 회귀 모델 결정부(277)는 성능 평가 지표를 비교하여 수확 시기의 생체중을 예측하기에 가장 적합한 회귀 모델을 선정한다(S979).

[0089] 이상에서 본 발명을 첨부된 도면을 참조하는 실시예들을 통해 설명하였지만 이에 한정되는 것은 아니며, 이들로부터 당업자라면 자명하게 도출할 수 있는 다양한 변형예들을 포괄하도록 해석되어야 한다. 특허청구범위는 이러한 변형예들을 포괄하도록 의도되었다.

부호의 설명

[0090]

100 : 육묘 품질 판단 시스템

110 : 식물 재배부 및 이미지 수집 장치

140 : 육묘 품질 판단부

141 : 제어부

150 : 저장부

195 : 출력부

200 : 육묘 품질 판단 시스템

220 : 식물 재배부 이미지 입력부

230 : 환경 데이터 입력부

240 : 식물 개체 이미지 검출부

250 : 식물 개체 이미지 저장부

260 : 식물 표현형 데이터 추출부

265 : 식물 생장 데이터 추출부

270 : 데이터 전처리부

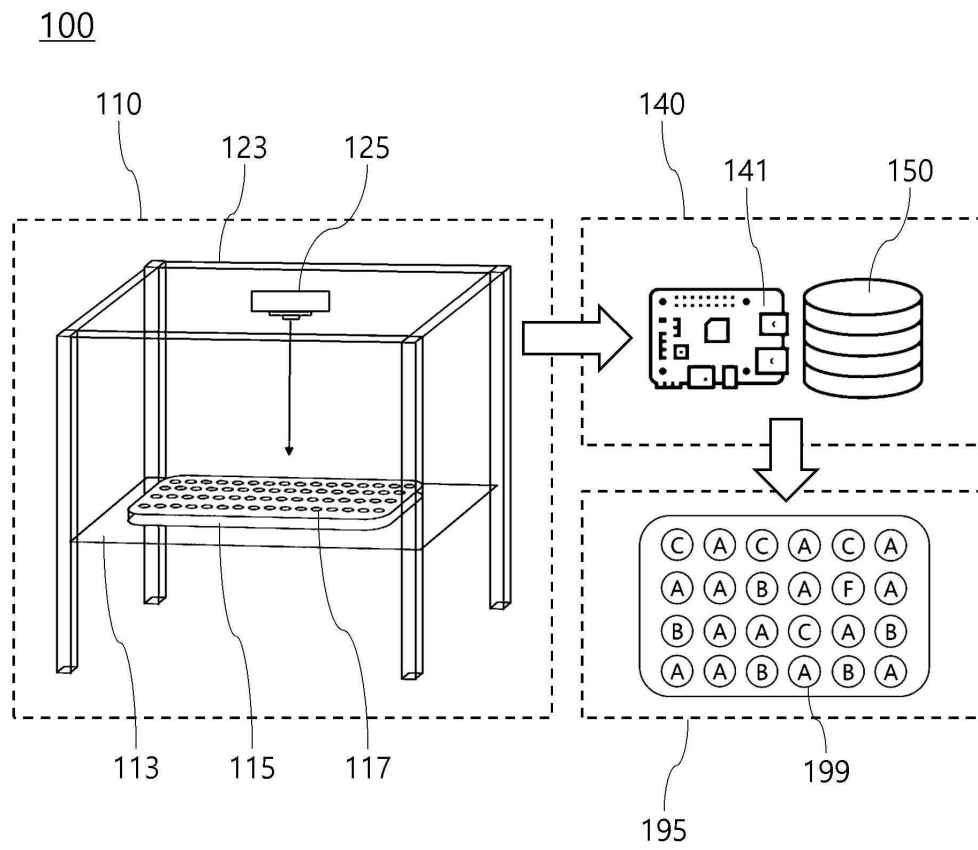
280 : 식물 생체중 예측부

290 : 식물 품질 등급 분류부

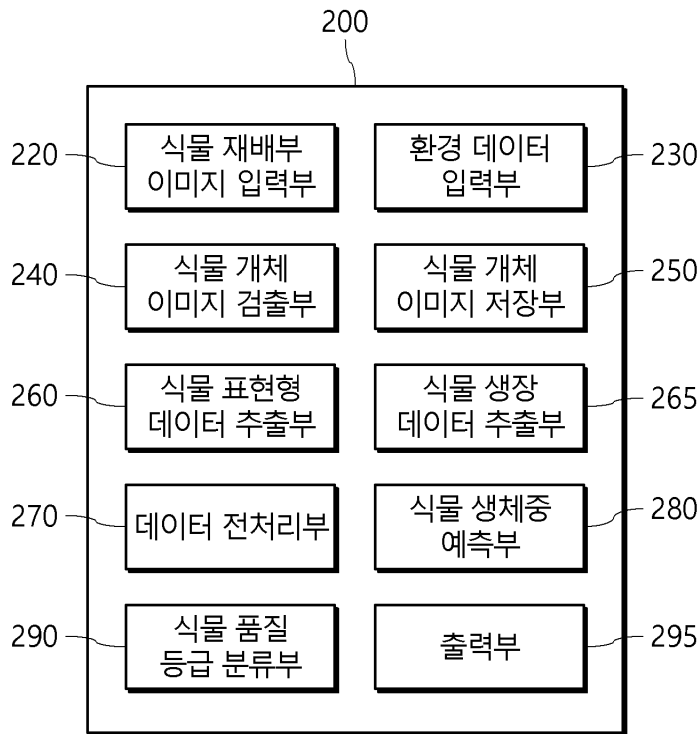
295 : 출력부

도면

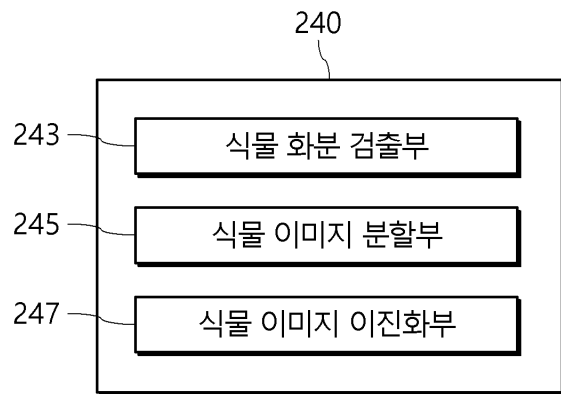
도면1



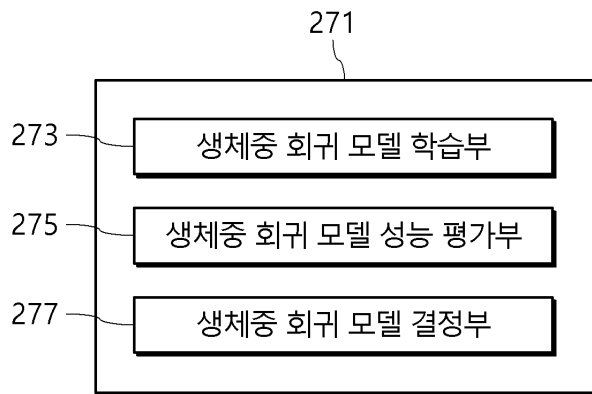
도면2



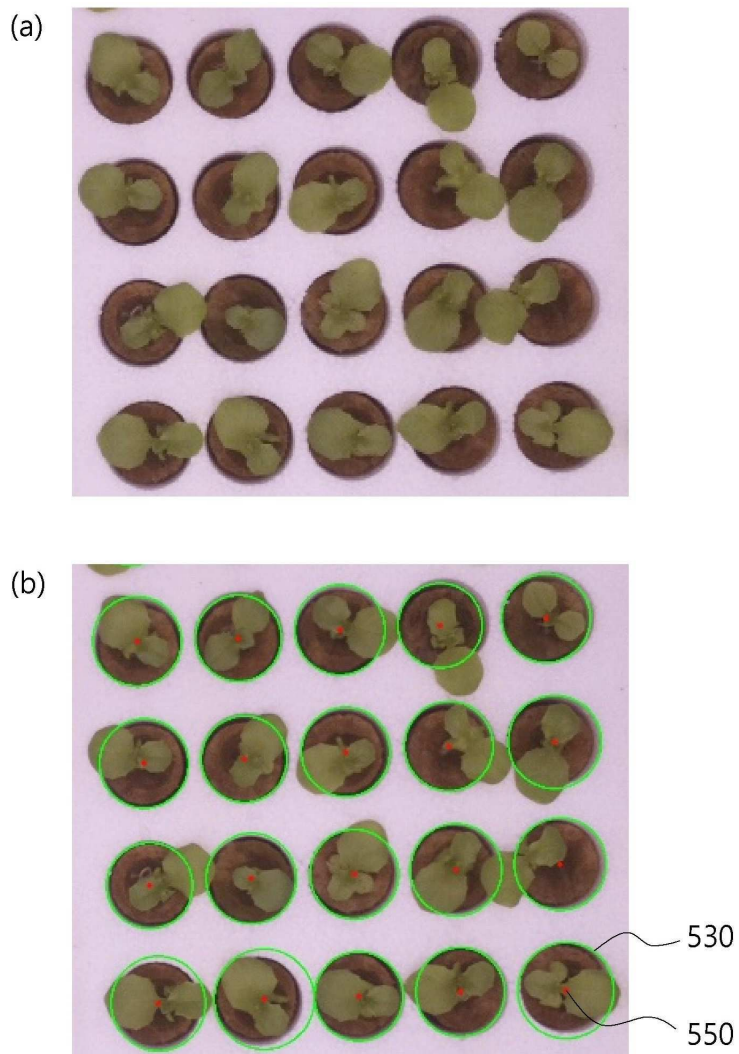
도면3



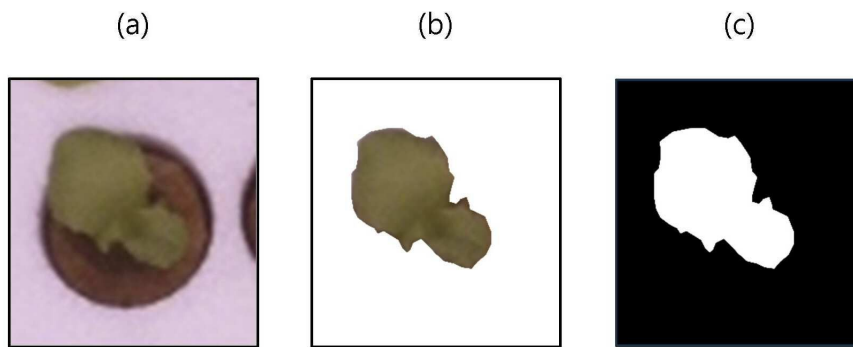
도면4



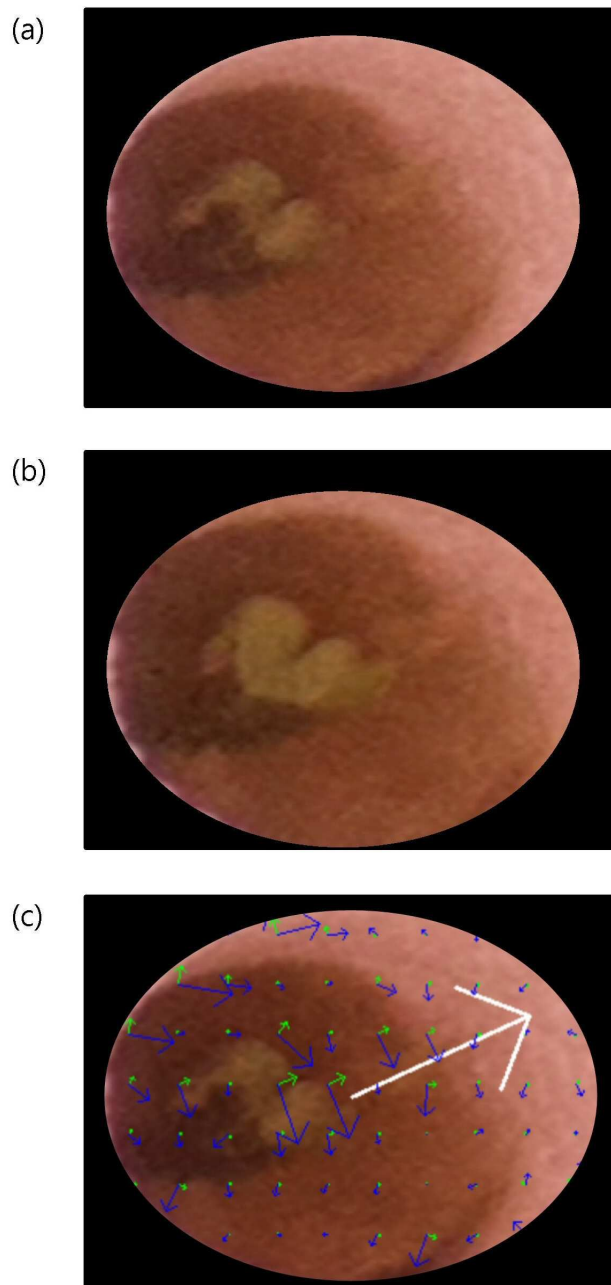
도면5



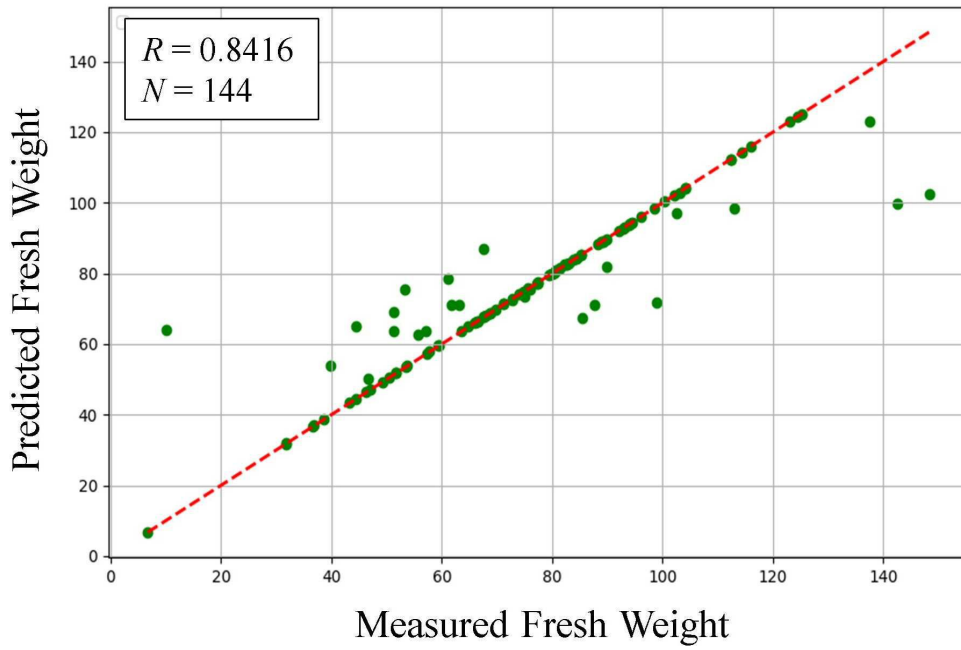
도면6



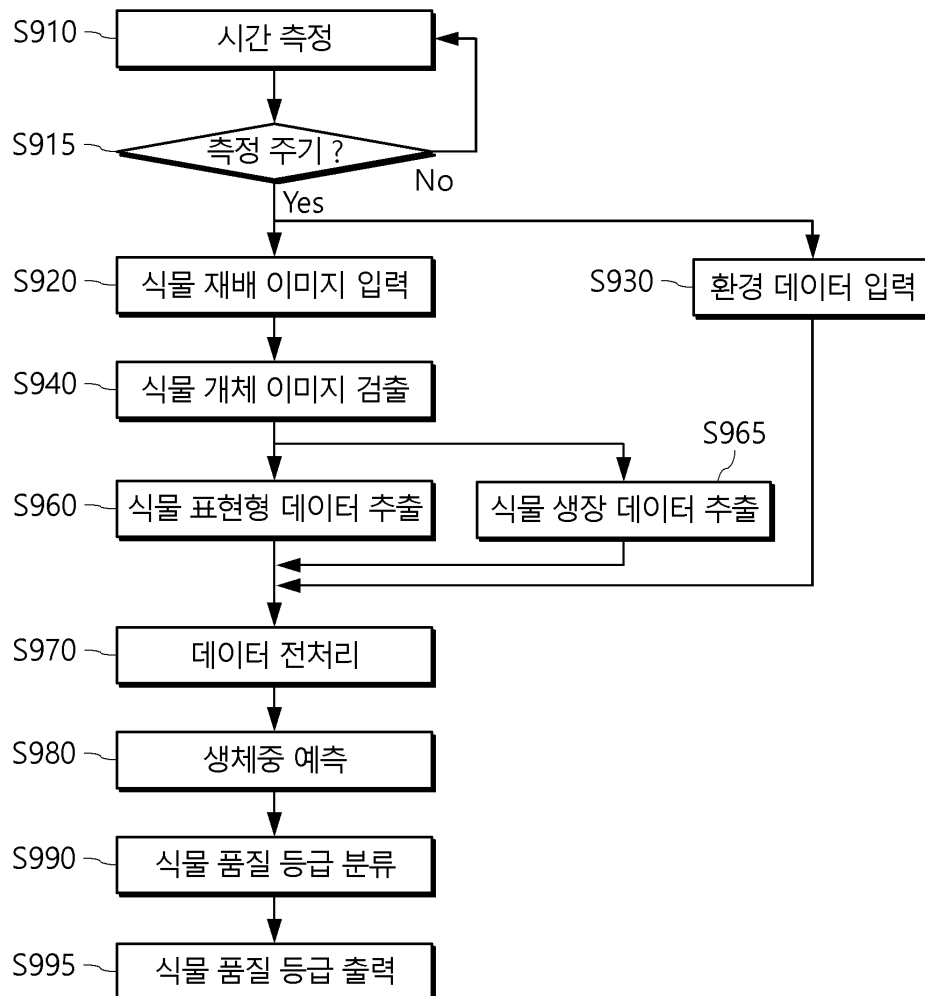
도면7



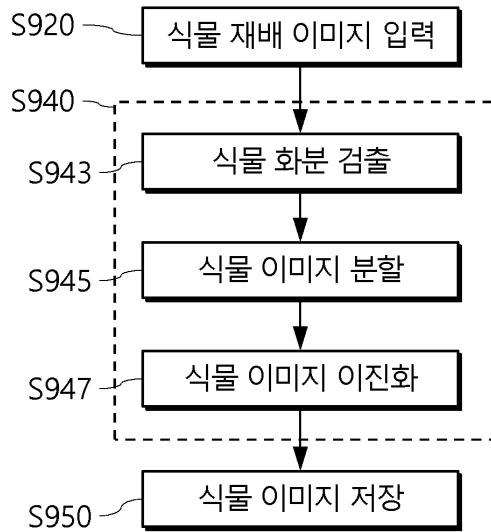
도면8



도면9



도면10



도면11

