



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0097506
(43) 공개일자 2015년08월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A01G 7/04 (2006.01) A01G 9/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류(Coo. Cl.)
A01G 7/045 (2013.01)
A01G 9/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7015754
(22) 출원일자(국제) 2013년12월12일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2015년06월12일
(86) 국제출원번호 PCT/SE2013/051504
(87) 국제공개번호 WO 2014/098735
국제공개일자 2014년06월26일
(30) 우선권주장
1251481-6 2012년12월20일 스웨덴(SE)

(71) 출원인
헬리오스펙트라 악티블라그 (피유비엘)
스웨덴 에스이-402 29 예테보리 박스 5401
(72) 발명자
포코크, 테사
스웨덴 에스-853 57 순스발 호른스가탄 7
비크, 토르스텐
스웨덴 에스-416 72 괴테보르그 소피아가탄 45
카르스텐센, 안나-마리아
스웨덴 에스-444 92 요르란다 하가 201
(74) 대리인
박장원

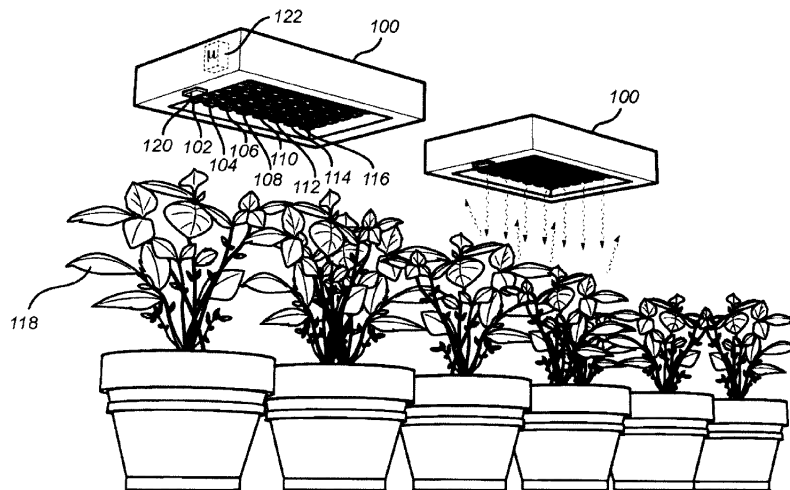
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 스트레스로부터 식물 회복을 위한 방법 및 조명 시스템

(57) 요약

본 발명은 식물의 인공 조명을 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은: 식물을 조사하기 위해 조명 시스템을 조절하는 단계로, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지고, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨은 상기 식물의 성장을 최적화하도록 선택되는 단계; 센서를 이용하여, 상기 식물에서 스트레스의 존재를 검출하는 단계; 스트레스가 검출되는 경우, 상기 조명 시스템을 조절하여 두 번째 스펙트럼 분포 및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물을 조사하는 단계로서, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮은 단계를 포함한다. 또한 본 발명은 상기 방법에 따른 식물의 인공 조명을 위한 조명 시스템에 관한 것이다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

식물의 인공 조명을 위한 방법으로서, 상기 방법은:

- 식물을 조사하기 위해 조명 시스템을 조절하는 단계로, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지고, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨은 상기 식물의 생장을 최적화하도록 선택되는 단계;
 - 센서를 이용하여, 상기 식물에서 스트레스의 존재를 검출하는 단계;
 - 스트레스가 검출되는 경우, 상기 조명 시스템을 조절하여 두 번째 스펙트럼 분포 및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물을 조사하는 단계로서, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮은 단계
- 를 포함하는 것인 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 두 번째 스펙트럼 분포는 상기 첫 번째 스펙트럼 분포와 다른 것인 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 두 번째 스펙트럼 분포는 파란색 파장 영역 내에서 유래되는 30-50% 광, 빨간색 파장 영역 내에서 유래되는 30-50% 광, 및 녹색 파장 영역 내에서 유래되는 5-30% 광의 조합을 포함하는 것인 방법.

청구항 4

선행하는 항들 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 센서를 이용하여 스트레스를 검출하는 상기 단계는 상기 식물에서 정규화된 레벨의 스트레스를 검출하는 것을 포함하는 것인 방법.

청구항 5

제5항에 있어서, 상기 두 번째 스펙트럼 분포 및 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 정규화된 레벨에 의존하는 것인 방법.

청구항 6

제4항 또는 제5항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 스트레스 레벨이 전결정된 역치 미만으로 결정된다면 상기 조명 시스템을 조절하여 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 상기 첫 번째 강도 레벨을 가지는 광을 상기 식물에 다시 조사하는 것인 방법.

청구항 7

식물의 인공 조명을 위한 조명 시스템으로서, 상기 조명 시스템은:

- 조정가능한 스펙트럼의 광을 방출하도록 설정된 광 방출 수단;
- 상기 식물에서 스트레스의 존재를 검출하도록 설정된 센서, 및
- 상기 센서 및 상기 광 방출 수단과 전기적으로 커플링되어 있는 제어 유닛을 포함하고, 상기 제어 유닛은:
 - 상기 식물을 조사하기 위해 상기 조명 시스템을 조절하며, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지고, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨은 상기 식물의 생장을 최적화하도록 선택되며;
 - 상기 센서를 이용하여, 상기 식물에서 스트레스의 정규화된 레벨을 검출하고;
 - 상기 정규화된 스트레스가 전결정된 역치 이상인 경우, 상기 조명 시스템을 조절하여 두 번째 스펙트럼 분포

및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물을 조사하며, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮도록 설정되는 것인 조명 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제어 유닛은 상기 정규화된 스트레스 레벨에 기반하여 상기 두 번째 스펙트럼 분포 및 상기 두 번째 강도 레벨을 조정하는 것인 조명 시스템.

청구항 9

제7항 또는 제8항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 센서는 하나의 엽록소 형광계 및 하나 또는 다수의 포토다이오드를 포함하는 것인 조명 시스템.

청구항 10

식물의 인공 조명을 위해 설정된 조명 시스템의 제어 유닛을 조절하기 위한 매체에 저장된 조절용 컴퓨터 프로그램 수단을 가지는 컴퓨터 판독가능한 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 산물로서, 상기 컴퓨터 프로그램 산물은 제1항에 따른 단계들을 실시하기 위한 코드를 포함하는 것인 컴퓨터 프로그램 산물.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 예를 들어 온실, 워크-인 챔버 또는 생장 캐비닛에 배치된 조명 시스템을 이용하는 것과 같은 광합성 환경에서 인공 조명 시스템을 이용하여, 예를 들어 광, 온도, 영양분, 물, 해충(pests) 및 질병에 의해 유도되는 스트레스로부터 식물 회복을 위한 방법에 관한 것이다. 또한 본 발명은 상응하는 조명 시스템, 상기 조명 시스템의 용도 및 컴퓨터 프로그램 산물에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 예를 들어 온실 내 인공 광 및 보광(supplemental lighting)은 전형적으로 식물 성장을 자극하기 위한 조명 시스템의 용도를 포함하고, 상기 조명 시스템은 다수의 고출력 광원들을 포함한다. 고압 나트륨(high pressure sodium) (HPS) 또는 형광등 또는 백열전구를 포함하는 메탈 할라이드(metal halide) (MH) 또는 고휘도 방전(high intensity discharge) (HID)에 기반된 광원들 같은 다른 광 스펙트럼을 가지고 생장 자극 상에 다른 효과들을 제공하는 다른 타입의 광원들을 포함할 수 있다.

[0003] 최근에, 발광 다이오드(LEDs)의 밝음을 증가시키는 데 많은 진보가 이루어졌다. 그 결과, LED는 예를 들어 온실 환경에서 인공 광 조사(lighting)에 사용하기 위해 충분히 밝고 저렴하게 되었으며, 추가적으로 조정가능한 색을 가진 광 (광 스펙트럼)을 방출할 가능성을 제공한다. 색깔이 있는 LED를 다르게 혼합함으로써, 많은 색깔들을 낼 수 있다. 색 조정가능한 광 조사 시스템은 전형적으로 많은 원색들, 하나의 예로 3개의 원색인 빨간색, 녹색 및 파란색을 포함한다. 발생된 광의 색은 이용된 LEDs 뿐 아니라, 그 혼합 비율에 따라 결정된다. 현재 환경적 추세와 잘 합치하는 필수조건인 에너지 소모를 감소시키는 것이 LED를 이용하여 가능하다. 추가적으로, LED 기반된 조명 시스템을 이용하는 것은 온도 조절이 바람직한 환경에 특히 적절한 광원 발생된 열의 양을 최소화시킨다.

[0004] 당업자에게 잘 알려진 대로, 광은 광합성을 위한 에너지를 제공하지만, 광 흡수 속도가 엽록체 내 에너지 이용의 속도를 초과하는 경우 손상을 줄 수 있다. 광저해(photoinhibition)는 광합성 효율에서 광-의존성 감소이고 광계(photosystem) II (PSII) 광화학적 최대 효율 (F_v/F_m)에서의 감소와 오랫동안 연관되어져 왔다 (Kok 1956, Long et al. 1994). 원래, 광저해는 높은 광 현상으로 여겨졌지만 광저해가 낮은 광 강도 하에서 일어나고 이에 따라 모든 천연 서식지(habitats)에서 필연적인 이벤트라는 것이 밝혀졌다. 사실, 광저해는 비가역적 스트레스-유도된 손상을 초래할 수 있지만 가역적 광-보호적 기작들을 반영할 수도 있다. 광합성의 회복 동역학(recovery kinetics)은 단백질 합성에 독립적인 빠른 단계(fast phase) (20-60분) 및 PSII 재-활성화 및 D1 복구 사이클(repair cycle)에 의존적인 더 느린 단계(slower phase) (수 시간)를 가지는 이상적(biphasic)이다 (Hurry and Huner 1992, Leitsch et al. 1994). 높은 광 스트레스로부터 광합성의 회복은 전형적으로 '백색 광(white light)' (고압 나트륨 (HPS) 또는 형광 튜브) 하에서 실시되고, 낮은 광 ($20-50 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)에서 최적이라는 것이 밝혀졌다 (Polle and Melis 1999). 광이 광합성 동안 요구되는 에너지를 제공하는 것처럼 광저해

로부터 완전한 회복을 위해 광이 필요하다는 것으로 결론났다.

[0005] 사실상, 식물은 다른 광 및 변화하는 광 특질(light quality)에 노출된다. 예를 들어, 식물 캐노피(canopies) 내 및 아래에서 식물 잎들은 뚜렷하지 않은 근적외선 풍부 환경 (700-800 nm)에 순응하고 광반(sunfleck) 동안 완전한 스펙트럼 포화성 광에 빠르게 노출될 수 있다. 낮 동안(diurnal scale)에, 상기 스펙트럼은 파란색 풍부화된 아침 광으로부터 균일한 스펙트럼 비율의 한-낮을 거쳐 빨간색-풍부화된 저녁 광까지 스위칭한다 (오루스트, 스웨덴; 위도 58° 13', 2009년 12월) (Pocock, 공개되지 않은 데이터). 더 나아가, 광 특질은 상기 잎 내 물리적 층들 간에 다르며 이는 잎 광질 농도구배에 따른 상이한 광합성 능력과 연관되었었다 (Sun et al. 1998, Terashima et al. 2009).

[0006] 식물 형태 및 발달에서 스펙트럼-의존적 변화들인 광형태형성(Photomorphogenesis)은 식물에서 가장 널리 연구된 광 특질 현상이다 (Lin and Todo 2005, Thomas 2006, Chory 2010, Quail 2010). 하지만, 상기 스펙트럼의 빨간색 및 파란색 영역들의 효과를 조사하는 대부분의 연구와 함께 광합성이 광 특질에 의해 영향받는다라는 것이 알려졌다. 빨간색 또는 파란색 광에 의해 조정되는 광합성 특성들은 엽록소 생성(biogenesis), 엽록체 이동, 광계 화학량론(stoichiometry), 기공 개방 및 진도, 광합성 전자 전달, 및 산소 방출을 포함한다 (Kim et al. 1993, Nishio 2000, Frechilla et al. 2000, Briggs and Olney 2002, Liscum et al. 2005, Pettai et al. 2005, Loreto et al. 2009).

[0007] 흥미롭게도, 광합성에서 녹색 광의 중요성이 최근에 재-조사되고 있다. 파란색 및 빨간색 광은 잎의 향측면(adaxial side)에서 우선적으로 흡수되고 녹색 광과 비교하여 이러한 영역에서 활동적인 광합성에 더욱 효율적이다 (Sun et al.1998 Nishio, 2000, Terashima et al. 2009). 그 결과, 녹색 광은 상기 잎 내로 보다 깊게 전달되며 상기 배측면(abxial sields)에서 강한 CO₂ 고정에 있어서 파란색 또는 빨간색 광 어느 것보다 더 효율적이다 (Sun et al. 1998, Terashima et al. 2009). 광-보호(photo-protection)에 대한 광 특질의 효과가 거의 알려져 있지 않다. 근적외선에 노출된 식물은 상태 전이(state transitions) 같은 빠른 단-기간의 광-보호성 기작을 유도한다 (Wollman 2001, Allen and Forsberg 2001, Dietzel 등에서 검토됨. 2008). 근적외선에 대한 노출은 PSII가 우선적으로 흡수하는 상태 1로의 쉬프트를 초래하는 반면에, 파란색 광은 PSI이 우선적으로 흡수하는 상태 2로의 쉬프트를 유도한다 (Shapiguzov et al. 2010).

[0008] 현재까지 대부분의 광저해 및 회복 연구들은 PSII 광화학의 최대 양자 효율인 펄스 증폭 조절된 엽록소 a 형광 파라미터인 F_v/F_m에서의 변화를 측정함으로써 정량화시킨다. F_v/F_m에서의 감소는 광합성에서의 감소와 연관되며 이는 손상 뿐 아니라 가역적, 조절된 광-보호 하향 조절을 나타낼 수 있다 (Krause et al. 1990, Critchley 1994, Chow et al. 2002). 형광의 광화학적 퀸칭 (q_p)은 오픈 PSII 반응 센터의 비율을 반영하고 닫혀진(closed) 센터들의 풍부함으로 인해 광저해 동안 이것은 전형적으로 감소된다 (Genty et al. 1989, Maxwell and Johnson 2000). 상기 퀸칭은 PSI에 대해 상대적인 PSII에 의해 흡수된 에너지에서 불균형의 측정치이며 광합성에 이용가능한 충분한 에너지가 있는 지를 지시한다 (Ensminger 등에서 검토됨. 2006). 택일적으로, 1-q_p는 닫혀진 PSII 반응 센터들의 비율을 지시하는 데 이용되었으며 최대 PSII 흥분압(excitation pressure)으로 명명된다 (Ogren and Rosenqvist 1992, Maxwell et al. 1994, Huner et al. 1998).

[0009] 형광의 비-광화학적 퀸칭 (NPQ)이 유도되어 광저해 동안 광계의 과다-흥분 및 비가역적 손상을 상쇄시킨다 (Denmig-Adams and Adams 1996, Niyogi 1999, Finazzi et al. 2004, Sun et al. 2006). 크산토펜(xanthophyll) 사이클을 통한 열로의 초과 광 에너지의 소멸은 NPQ의 가장 중요한 구성성분으로 고려된다 (Raven 2011).

[0010] 상기 제시된 선행-기술의 측면(light)에서조차, 구체적으로는 LED 기반된 인공 조명 시스템과 관련하여 예를 들어 생산(yield)을 증가시킬 수 있고 식물의 성장 과정을 개선하기 위한 광합성 환경에서 인공 조명 시스템을 이용하는 것으로부터 상기 회복을 추가적으로 최적화시키는 것이 여전히 가치있을 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 첫 번째 양태에 따르면, 상기 양태는 식물의 인공 조명을 위한 방법에 의해 적어도 부분적으로 해결되고, 상기 방법은 식물을 조사하기 위해 조명 시스템을 조절하는 단계로, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지고, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨은 상기 식물의 성장을

최적화하도록 선택되는 단계, 센서를 이용하여, 상기 식물에서 스트레스의 존재를 검출하는 단계, 스트레스가 검출되는 경우, 상기 조명 시스템을 조절하여 두 번째 스펙트럼 분포 및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물을 조사하는 단계로서, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮은 단계를 포함한다.

[0012] 본 발명은 일부 예들에서 광, 온도, 영양분, 물, 해충 및 질병이 상기 식물에서 스트레스를 도입한다는 이해에 기반한다. 본 발명에 따르면, 스트레스가 적합한 센서를 이용하여 자동적으로 결정되는 경우에서, 상기 식물을 조사하기 위해 제공되는 광의 스펙트럼 분포 뿐 아니라 강도를 조정한다.

[0013] 따라서, 본 발명의 장점은 식물에서 스트레스를 검출할 가능성 뿐 아니라 식물에 조사하는 광의 스펙트럼 분포/강도를 조정하여 그러한 조건을 자동적으로 "처리하는(treating)" 것을 포함한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 맥락 안에서, 상기 표현 "식물을 조사하는 것(illuminating the plant)"이 직접적 및/또는 간접적(예를 들어, 벽, 지붕 또는 바다 같은 주변 물체들을 이용하는 것)을 포함하여 폭넓게 해석될 것이라는 것을 유의해야 한다. 유사하게도, 상기 표현 "식물의 성장을 최적화하는 것(optimizing growth of the plant)"은 폭넓게 해석될 것인데, 다시 말하면 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 뿐 아니라 상기 첫 번째 강도는 예를 들어 식물을 성장시키기 위한 하나 또는 다수의 파라미터들을 최적화시키는 목적을 위해 상기 식물의 현재 성장 사이클에 따라 선택된다. 그러한 파라미터들은 예를 들어 많은 줄기들, 폭넓은 등과 같은 식물을 성장시키는 것과 관련하여 식물의 성장을 최적화시키는 것을 포함할 수 있다. 또한, 식물의 풍미, 색, 등을 최적화시키기 위해 상기 식물을 성장시키는 것과 관련하여 상기 식물을 최적화시킬 수 있다.

[0015] 선호되는 구현예에서, 상기 두 번째 스펙트럼 분포는 상기 첫 번째 스펙트럼 분포와 다르다. 총계는, 상기 두 번째 스펙트럼 분포는 파란색 파장 영역 내에서 유래되는 30-50% 광, 빨간색 파장 영역 내에서 유래되는 30-50% 광, 및 녹색 파장 영역 내에서 유래되는 5-30% 광의 조합을 포함한다.

[0016] 상기 구현예들 중 어느 하나에서 상기 첫 번째 및 두 번째 스펙트럼 분포 뿐 아니라 상기 첫 번째 및 두 번째 강도 레벨은 시간 의존적일 수 있다는 것을 주지해야 한다. 즉, 식물의 성장을 최적화시키기 위한 "첫 번째 조명 레시피(first illumination recipe)" (상기 첫 번째 스펙트럼 분포, 상기 첫 번째 강도 레벨 및 시간 상수에 기반됨), 및 회복 단계(recovery phase) 동안 이용하는 "두 번째 조명 레시피" (상기 두 번째 스펙트럼 분포, 상기 두 번째 강도 레벨 및 시간 상수에 기반됨)로 식물을 조사하는 것이 가능하고 본 발명의 범위 내에 있다. 것처럼, 상기 두 번째 조명 레시피는 일단 식물이 적절한 레벨의 회복에 도달하면 자체적으로 상기 첫 번째 조명 레시피에 대해 조정하는 그러한 방식에서 다양하도록 설정될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 센서를 이용하여 식물에서 스트레스의 (정규화된) 레벨을 검출하는 것이 일부 구현예들에서 유리할 수 있다. 총계는, 상기 두 번째 스펙트럼 분포 및 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 정규화된 스트레스 레벨에 의존적일 수 있다. 하나의 구현예에서, 상기 센서가 전결정된 역치(threshold)보다 더 낮은 스트레스 레벨을 검출하는 경우에 상기 식물의 성장을 최대화시키는 목적을 위해 상기 조명 시스템을 조절하여 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 상기 첫 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 다시 식물을 조사한다.

[0018] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 식물의 인공 조명을 위한 조명 시스템으로서, 상기 조명 시스템은 조정가능한 스펙트럼의 광을 방출하도록 설정된 광 방출 수단(light emitting means), 상기 식물에서 스트레스의 존재를 검출하도록 설정된 센서, 및 상기 센서 및 상기 광 방출 수단과 전기적으로 커플링되어 있는 제어 유닛(control unit)을 포함하고, 상기 제어 유닛은 상기 식물을 조사하기 위한 상기 조명 시스템을 조절하며, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지고, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨은 상기 식물의 성장을 최적화하도록 선택되며, 상기 센서를 이용하여 상기 식물에서 스트레스의 정규화된 레벨을 검출하고, 상기 정규화된 스트레스가 전결정된 역치 이상인 경우, 상기 조명 시스템을 조절하여 두 번째 스펙트럼 분포 및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물을 조사하며, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮도록 설정되는 제어 유닛인 것인 조명 시스템이 제공된다.

[0019] 총계는, 상기 광 방출 수단은, 예를 들어 다른 타입의 발광 다이오드(LEDs)를 포함하는 발광 소자들(light emitting elements)을 전형적으로 포함한다. 상기 논의된 대로, 일반적으로 LEDs를 이용하는 것은 개선된 열 관리가 가능한 동시에 조명 시스템의 효율을 개선한다. 본 발명의 이 양태는 본 발명의 첫 번째 양태와 관련하여 상기 논의된 대로 유사한 장점들을 제공한다. 하지만, 다른 색의 필터들과 조합하여 하나 또는 다수의 (일반적인) 광원을 이용하여 동일한 또는 유사한 효과를 제공할 수도 있다. 다른 가능성들도 물론 가능하며 본 발명의

범위 내에 있다.

[0020] 종계는, 상기 센서는 하나의 엽록소 형광계(fluorometer) 또는 하나 또는 다수의 포토다이오드(photodiodes)를 포함한다. 본 발명과 관련하여 적합한 측정 기술들은 본 발명의 상세한 기재와 관련하여 하기에 추가적으로 논의될 것이다.

[0021] 본 발명의 추가적인 양태에 따르면, 식물의 인공 조명을 위해 설정된 조명 시스템의 제어 유니트를 조절하기 위한 매체에 저장된 조절용 컴퓨터 프로그램 수단을 가지는 컴퓨터 관독가능한 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 산물(product)로서, 상기 컴퓨터 프로그램 산물은 상기 논의된 대로 방법 단계들을 실시하기 위한 코드(code)를 포함하는 것인 컴퓨터 프로그램 산물이 제공된다

[0022] 상기 제어 유니트는 종계는 마이크로 프로세서 또는 어떠한 다른 타입의 컴퓨팅 장치이다. 유사하게도, 상기 컴퓨터 관독가능한 매체는 제거가능한 비휘발성 랜덤 액세스 메모리(removable nonvolatile random access memory), 하드 디스크 드라이브, 플로피 디스크, CD-ROM, DVD-ROM, USB 메모리, SD 메모리 카드, 또는 당업계에 알려진 유사한 컴퓨터 관독가능한 매체 중 하나를 포함하는 어떠한 타입의 메모리 장치(memory device)일 수 있다.

[0023] 본 발명의 추가적인 특징들 및 이의 장점들은 부가된 청구항들 및 이후의 기재를 연구함에 따라 명백해질 것이다. 당업자(skilled addressee)는 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 본 발명의 다른 특징들을 조합하여 하기에 기재된 구현예들 이외의 구현예들을 창출할 수 있다는 것을 확실히 이해한다.

도면의 간단한 설명

[0024] 특이적 특징들 및 장점들을 포함하는 본 발명의 다양한 양태들은 다음의 상세한 기재 및 수반하는 도면들로부터 용이하게 이해될 것이다:

도 1은 본 발명의 현재 선호되는 구현예에 따른 조명 시스템을 보여준다;

도 2는 식물을 향해 방출되는 경우 조명 시스템에 의해 제공된 광과 다른 부분들로의 세분화에 의해 제공되는 광 간의 관계를 예시한다;

도 3은 x-축을 따라 지시되는 개별 LED 및 암 회복(dark recovery) 처리에서 이용된 잎들에 대해 F_V/F_M 에서의 감소로서 표현되는 광저해를 예시한다;

도 4는 1-qP (a) 및 NPQ (b) 상의 광저해 효과를 예시한다;

도 5는 REP (a), PRI (b), Ch NDI (c) 및 NBVI (d) 상의 광저해 효과를 예시한다;

도 6은 광저해 전 및 후에 형광 파라미터 F_V/F_M 과 잎 반사율 지수들인 REP (a), PRI (b), Ch NDI (c) 및 NBVI (d) 간의 연관성을 예시한다;

도 7은 상기 회복 LED 광 체제(light regimes)의 스펙트럼 방사(irradiance) 및 분포를 예시한다;

도 8은 엽록소 a 형광 파라미터 F_V/F_M 에서의 퍼센트 증가로서 표현된 다양한 LED 광 체제 하에서 광저해된 잎들의 회복 동력학을 예시한다;

도 9는 회복 동안 잎 반사율 지수들인 REP (a), PRI (b), Ch NDI (c) 및 NBVI (d)와 F_V/F_M 간의 연관성을 예시하고,

도 10은 본 발명의 구현예에 따른 방법 단계들의 흐름도(flow chart)를 제공한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명은 수반하는 도면들을 참조하여 이후 보다 자세히 본 명세서에서 기재될 것이고, 상기 기재에서 현재 본 발명의 선호되는 구현예들이 보여진다. 하지만, 본 발명은 많은 다른 형태들에서 구체화될 수 있으며 본 명세서에서 설명된 구현예들로 제한되는 것으로 이해되지 않을 것이다; 오히려, 상술한 구현예들은 철저하고 완전하게 제공되고, 당업자에게 본 발명의 범위를 완전하게 전달한다. 동일 참조 부호는 동일한 요소(elements)를 지칭한다.

[0026] 도면들 및 특히 도 1을 언급하면서, 본 발명의 가능한 구현예에 따른 조명 시스템 100이 예시된다. 상기 조명

시스템 100은 최소 하나의 광원을 포함한다. 예시된 구현예에서 여덟 개의 서로 다른 색의 LED 기반된 광원 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116이 식물 118을 조사하기 위해 제공된다. 상기 조명 시스템 100은 식물에 의해 반사된 광을 받도록 설정된 센서 120 및 제어 유닛 122를 추가적으로 포함하며, 상기 제어 유닛 122는 광원 102-116 뿐 아니라 상기 센서 120에 전기적으로 커플링된다.

[0027] 좋게는, 상기 광원은 다른 색 (스펙트럼) 및 전형적으로 중첩하는 스펙트럼 분포(즉, 서로에 대해 중첩하는 파장 범위 및 다른 피크 파장을 가짐)를 가진다. 상기 광원 102-116의 다른 색은 전형적으로 자외선부터 근적외선까지의 범위이다. 비록 8개의 광원 102-116이 도 1에 예시되어 있을지라도, 그 이상 뿐 아니라 그 이하의 광원들도 본 발명의 범위 내에서 제공될 수 있다. 유사하게도, 동일한 색의 더 많은 광원을 제공하여 특이적 파장 범위 내 바람직한 출력(power)을 달성할 수 있다. 상기 센서 120은, 예를 들어 엠평소 형광계 또는 하나 또는 다수의 포토다이오드, CCD 센서를 포함하여 상기 식물로부터 광 기반된 피드백(feedback)을 받도록 선택된다. 광원에서처럼, 단일 또는 다수의 센서들 120이 제공될 수 있다.

[0028] 제어 유닛 122는 아날로그 또는 이산 시간(time discrete) 식일 수 있고, 이는 일반적인 목적 프로세서, 적용 특이적 프로세서, 프로세싱 컴포넌트(components)를 포함하는 회로, 하나의 그룹의 분산된 프로세싱 컴포넌트, 프로세싱을 위해 설정된 하나의 그룹의 분산된 컴퓨터, 등을 포함한다. 상기 프로세서는 데이터 또는 시그널 프로세싱을 하거나 또는 메모리에 저장되어 있는 컴퓨터 코드를 실행하기 위한 어떠한 수의 하드웨어 컴포넌트들이 있거나 또는 이를 포함할 수 있다. 상기 메모리는 본 명세서에 기재된 다양한 방법들을 완수하거나 또는 용이하게 실시하기 위한 데이터 및/또는 컴퓨터 코드를 저장하기 위한 하나 이상의 장치들일 수 있다. 상기 메모리는 휘발성 메모리 또는 비-휘발성 메모리를 포함할 수 있다. 상기 메모리는 데이터베이스 컴포넌트, 목적 코드 컴포넌트, 스크립트 컴포넌트, 또는 본 명세서의 다양한 활동을 지지하기 위한 어떤 다른 타입의 정보 구조를 포함할 수 있다. 전형적인 구현예에 따르면, 분산되거나 또는 국소적(local)인 어떠한 메모리 장치를 본 명세서의 시스템들 및 방법들과 함께 이용할 수 있다. 전형적인 구현예에 따르면, 상기 메모리는 상기 프로세서와 소통가능하게 연결되어 있고(예컨대, 회로 또는 어떠한 다른 유선, 무선, 또는 네트워크 접속) 본 명세서에 기재되어 있는 하나 이상의 프로세스들을 실행하기 위한 컴퓨터 코드를 포함한다. 물론 디지털 제어 유닛에 의해 제공되는 것처럼 유사한 기능성(functionality)이 아날로그 및/또는 전기적 회로망(circuitry)의 조합을 이용하여 달성될 수 있다.

[0029] 식물 118은 인공 조명을 제공하도록 설정된 조명 시스템 100에 의해 자극된 생장에 적합한 어떤 타입의 식물일 수 있다. 상기 식물의 타입은 허브, 약용 식물, 관상용(ornamental) 및 일반적인 작물, 등을 포함할 수 있다.

[0030] 도 2를 추가적으로 참조하면, 식물 118로 향해 200이 방출되는 경우 조명 시스템에 의해 제공된 광과 다른 부분들로의 세분화에 의해 제공되는 광 간의 관계의 예시가 제공된다. 상기 논의된 대로, 상기 식물 118을 향해 상기 조명 시스템 100에 의해 방출된 광은 전형적으로 다른 부분들로 세분화될 수 있는데, 상기 세분화는 최소한 식물의 생장 또는 성능(performance)을 자극하기 위해 상기 식물 118에 의해 흡수되는 광 202, 모양으로 향하는 식기 식물 118을 통과하는 광 204, 및 상기 식물 116에 의해 반사되는 광 206을 포함한다. 도 2로부터 알 수 있듯이, 상기 식물 118에 의해 발생된 형광을 띤 광(fluoresced light) 208과 관계하는 추가적인 구성요소(component)를 추가적으로 제공한다. 상기 식물 116에 의해 흡수된 광 202는 상기 식물 및 그 주위의 생장 및 열 발생에 대한 자극에 따라 추가적으로 세분될 수 있다.

[0031] 본 발명과 관련하여 실시된 전형적인 실험과 관련하여, 오시뮴 바실리쿰(*Ocimum basilicum*) L. (나뭇잎)을 상온(낮 23° -25°C/밤 20° -24°C) 및 18시간 광주기(photoperiod)에서 손으로 만든(home-made) 1.4 m² 반사성 폴리스티렌 생장 유닛의 LED 전체 스펙트럼 램프 하에서 표준 모양에서 성장시켰다. 캐노피의 위쪽에서 생장 방사를 90 μmol 양자(quantum) m⁻² s⁻¹에서 유지시켰다. 광 방사 및 스펙트럼 분포를 LI-COR 양자 센서(quantum sensor)로 측정하였다. 200 ppm의 일정한 N 적용을 유지시키면서 VITA-GRO TM로 물을 각각 공급하여 식물을 비옥하게 하였다.

[0032] 전형적인 구현예와 관련하여, 파란색 광은 400-500 nm로 정의되고, 녹색 광은 500-600 nm, 빨간색 광은 600-700 nm, 그리고 근적외선은 700-800 nm로 정의된다. 회복 처리에 이용된 LEDs는 최대 피크(peak maxima)에 의해 언급된다: 파란색 (400 nm, 420 nm 및 450 nm), 녹색 (530 nm), 빨간색 (630 nm 및 660 nm) 및 근적외선 (735 nm).

[0033] 상기 전형적인 구현예와 관련하여, 가장 위쪽에 완전히 펼쳐진 잎들 (3번째 쌍)을 20일의 생장 (중간-지수 생장 단계) 후 식물로부터 수거하고 처리 내내 수분 페이퍼 타월 위에서 유지하였다. 얼음 위에 놓여졌던 알루미늄

트레이 내에 있을 위치시킴으로써 10° 와 12°C 사이에서 유지된 잎 표면 온도와 함께 HPS 램프 (SON-T, Philips, NL) 하에서 1500-1800 μmol 양자 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 광저해를 유도하였다. 잎들이 F_V/F_M 값에 의해 지시된 대로 균일하게 광저해될 때 (약 1시간)까지 광저해 처리를 실시하였다. 전-광저해, 광저해 후에 형광 유도 곡선을 실시하였고, 그 이후에 20분, 60분 및 120분 동안 회복을 실시하였다. 도 3a-f와 관련하여 보여지는 대로 암 상온에서 잎들을 회복하도록 하였고 420 nm, 530 nm, 660 nm, 735 nm, 420 nm + 660 nm 및 전체 스펙트럼에서 최대 피크를 가지는 개별 LED 처리 하의 낮은 광으로 잎들을 회복하도록 하였다. 회복 광은 각각 8 및 15 μmol 양자 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 735 nm 및 530 nm를 제외하는 모든 회복 처리 하에서 23-25 μmol 양자 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 사이였다.

[0034] 회복을 최대 PSII 광화학 효율 (F_V/F_M)에서의 증가로서 측정하였고 가짜(pseudo) 첫 번째-순서 회복 속도 상수들 (k) 및 최대 회복 (a)은 Greer 등 1988)에 기재된 대로 $y = a + b(1 - e^{-kt})$ 에 대한 비선형 회귀 (Sigma plot, version 6.0)를 상기 데이터에 적용시켜 산출하였다.

[0035] 전형적인 실험에 관련하여, 엽록소 a 형광 측정은 상온에서 펄스 진폭 조절된 엽록소 형광계로 이루어졌다. 모든 측정 전에, Q_A 를 완전히 산화시키기 위해 식물들을 20분 동안 암 적용시켰다. 약한 근적외선을 이용하여 최소 형광 (F_0)을 측정한 반면에 800 ms 동안 10,000 μmol 광자들/ m^2/s 의 포화 펄스 후에 최대 형광 (F_M)을 측정하였다. 상기 비율, F_V/F_M 은 $F_M - F_0$ 로 계산된 F_V 와 함께 PSII 광화학의 최대 효율에서의 변화를 지시하는 데 이용되었다 (Krause and Weis 1991). 광화학적 퀀칭은 $(F'_M - F)/(F'_M - F_0)$ 로 결정하는 반면에 PSII 흥분압은 $1 - q_p$ 로 계산하였다 (van Kooten and Snel 1990, Huner et al. 1998). 엽록소 형광의 비-광화학적 퀀칭인 NPQ는 $(F_M/F'_M) - 1$ 로 계산되었다 (Bilger and Bjorkman, 1990).

[0036] 전형적인 실험에 관련하여, 광저해 전 및 후의 형광 유도 곡선 후 그리고 회복 동안 식물 잎 반사율 (reflectance) 파라미터들을 잎에서 직접적으로 측정하였다. 잎-위(on-leaf)의 반사율은 두 갈래로 분기된 파이버가 적용된 보정 분광계로 측정하였다. 스펙트럼 해상도(resolution)는 0.4 nm 마다 하나의 시료였다. 상기 반사율 측정을 위한 조명은 Mikropack UV-VIS-NIR Lightsource)에 의해 제공되었다. 세 개의 잎 반사율 측정들은 300부터 900 nm까지의 범위의 파장에서 각 잎 상에서 실시하였고 잎의 복사를 반사 표면의 잎으로 정규화시킴으로써 산출하였다 (Spectralon, Labsphere, Inc., Sutton, NH, USA). 광화학적 반사율 지수 (PRI)는 $(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ 로 계산하였으며, 엽록소 명목 차이 지수(Chlorophyll Nominal Difference index) (Chl NDI)는 $(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$ 로 계산하였고 협대역 식생지수(Narrow Band Vegetation Index) (NBVI)는 R_{750}/R_{700} 로 계산하였으며, R은 특이적 파장 (서브스카립트) ± 1 nm에서 반사율 곡선으로부터 취해진 반사율이다 (Gamon et al. 1997; Lichtenthaler et al, 1998; Richardson et al. 2001).

[0037] 반사율 값들은 상기 특이적 파장 주위의 ± 1 nm의 범위 내에서 상기 반사율의 중앙값으로서 상기 스펙트럼으로부터 선택된다. 이 범위는 문헌에서 다양하기 때문에, 상기 반사율 파라미터들이 상기 반사율 값들이 상기 반사율 곡선 (체크되는 경우 0-20 nm의 범위)으로부터 취해지는 범위에 대해 얼마나 민감한 지를 체크함으로써 민감도 분석을 실시하였다. 여기에서 제시되는 상기 지수들은 이러한 범위에 민감하지 않았고 이에 따라 본 연구에서 함께 기능하도록 선택되었다. 빨간 에지 위치 (Red Edge Position) (REP)는 680 내지 750 nm의 간격 내에서 반사율 곡선의 최대 기울기의 파장으로 정의된다. 상기 REP는 최소 제곱 면(least square sense)에서 반사율 데이터에 적합하게 된 곡선의 최대 도함수를 위한 파장으로서 결정하였다. 상기 데이터에 적절하게 된 곡선은 도치된 정규 곡선(inverted Gaussian curve)

$$R(\lambda, \theta) = \theta_2 - (\theta_2 - \theta_1) \exp\left(-\frac{(\lambda - \theta_4)^2}{2\theta_3^2}\right)$$

[0038] 이었고 상기 최대 도함수의 파장은 $\lambda = \theta_3 + \theta_4$ 에 의해 주어진다 (Bonham-Carter 1988, Dawson and Curran 1997). 상기 곡선 맞춤(curve fitting)은 함수 "lsqcurvefit"를 가지는 MATLAB에서 실시하였다.

[0040] 전형적인 실험과 관련하여, 분리된 잎은 회복 처리 전에 고광 (1500-1800 μmol 에서 HPS) 및 낮은 온도 (10° - 12°C)의 광저해성 조건에 노출시켰다. 모든 시료들은 최대 PSII 광화학적 효율 (F_V/F_M)에서 37%와 42% 사이의 유사한 감소로 지시되듯이 동일한 정도로 광저해되었다 (도 1). 또한, 광저해는 도 4a-d와 관련하여 보여지는 대

로 PSII 흥분압 ($1-q_p$)에서의 1.6-배 증가 및 비-광화학적 퀸칭 (NPQ)에서의 1.8-배 증가를 초래하였다. 형광 측정 후 직접적으로 각 잎에 대한 반사율 스펙트럼을 발생시켰다. 광저해는 도 5a에서 보여지는 대로 701 nm \pm 0.3부터 698 nm \pm 0.3까지 REP에서의 전체적인 쉬프트를 초래하였다. 도 4b-d에서 보여지듯이 광저해 후 광화학적 반사율 지수 (PRI)는 40%까지 감소하였고, 엽록소 명목 차이 지수 (Chl NDI)는 28%까지 감소하였으며 협대역 식생지수 (NBVI)는 30%까지 감소하였다. 도 5b에서 볼 수 있듯이, 상기 스펙트럼 반사율 파라미터들과 F_v/F_m 간의 강한 연관성 ($r^2 = 0.86 - 0.90$)이 관찰되었고 상기 REP, PRI, Chl NDI, NBVI 모두는 도 6에서 볼 수 있듯이 광저해를 검출하기 위한 가능성(potential)을 가진다는 것을 의미한다.

[0041]

전형적인 실험과 관련하여, 광저해진 잎은 도 7a-f에 예시된 개별 광 특질 처리 하에서 상온에서 회복되었다. 광저해로부터의 회복은 도 8에서 보여지는 대로 회복 처리 동안 20분, 60분 및 120분에서 F_v/F_m 의 증가로서 측정되었다. 회복을 위한 보간율(interpolated rate) 상수 (k)는 상기 다른 회복 처리들을 두 개의 개별 그룹들로 분류하였다. 전영역 스펙트럼 (FS), 660 nm 및 420 nm + 660 nm의 조합 하에서, 상기 k 값은 0.12 및 0.13에서 가장 높았다 (표 1). 두 번째 그룹핑(grouping)은 38% 미만이었던 k에 대한 값들 (0.07 및 0.08)을 가졌고 530 nm, 420 nm, 735 nm 및 암의 회복 처리 하에서 관찰되었다 (표 1). 최대 회복 (a)은 FS 및 420 nm + 660 nm 처리 하에서의 회복 후에 88-89% 회복으로 가장 높았다.

회복 처리	k	a	r^2
전영역 스펙트럼	0.12 \pm 0.02	89 \pm 3	0.99 \pm 0.01
420 + 660 nm	0.13 \pm 0.01	88 \pm 2	0.99 \pm 0.00
660 nm	0.13 \pm 0.03	80 \pm 1	0.98 \pm 0.01
420 nm	0.08 \pm 0.01	82 \pm 2	0.99 \pm 0.01
530 nm	0.08 \pm 0.01	76 \pm 7	0.97 \pm 0.02
735 nm	0.07 \pm 0.01	64 \pm 1	0.98 \pm 0.01
암(Dark)	0.08 \pm 0.02	70 \pm 8	0.93 \pm 0.03

[0042]

[0043]

표 1. 파란색 (420 nm), 녹색 (530 nm), 빨간색 (660 nm) 및 근적외선 (735 nm)의 범위에서 다르게 혼합된 개별 LED 그룹 하에서 형광 파라미터 F_v/F_m 의 회복에 대해 회복을 위한 속도 상수 (k) 및 최대 회복 (a). 회복을 위한 상기 속도 상수 (k) 및 최대 회복은 방정식 $y = a + b(1 - e^{-kt})$ 에 적합하게 되었던 도 6에 예시된 회복 동력학으로부터 결정되었다. 값들은 평균값 \pm 표준 오차, n = 3-9를 의미한다.

[0044]

전형적인 실험과 관련하여, 이것은 420 nm (82%), 660 nm (80%), 530 nm (76%), 암 (70%)의 순이고 최종적으로 735 nm (64%)였다 (표 1). 개별 스펙트럼 특질 하에서 $1-q_p$ 의 회복은 F_v/F_m 에 대한 회복처럼 유사한 경향을 나타냈다. FS 및 420 nm + 660 nm 회복 처리의 조합은 각각 0.10 및 0.09의 전-광역제성(pre-photoinhibitory) 값들에 대해 낮아지는 $1-q_p$ 의 회복을 초래했다 (표 2). 더 덜한 정도에도 불구하고, 530 nm 하에서 88% 회복, 420 nm 하에서 76% 회복, 660 nm 하에서 71% 회복, 암 및 735 nm에서 각각 50% 및 43% 같이 다른 광 특질 처리 모두에서 회복된 잎에서 $1-q_p$ 의 회복이 관찰되었다 (표 2). 대조적으로, NPQ에서의 회복은 모든 회복 처리들에서 명확하지 않았다. NPQ의 회복은 0.28의 전-광역제성 값에 근접한 경우 420 nm + 660 nm 및 FS 하에서 회복된 잎에서 일어났다 (표 2). 660 nm, 735 nm 및 420 nm 하에서의 잎은 각각 41%, 46% 및 54%까지 NPQ를 회복시켰지만, 530 nm 및 암 회복 처리 하에서 회복을 거의 관찰하지 못 했다(9%).

처리	$1-q_p$ 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
420 + 660 nm	0.25 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02	0.10 \pm 0.03	0.09 \pm 0.02
FS	0.26 \pm 0.04	0.18 \pm 0.02	0.13 \pm 0.02	0.10 \pm 0.02
530 nm	0.26 \pm 0.08	0.18 \pm 0.04	0.14 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01
420 nm	0.27 \pm 0.06	0.21 \pm 0.03	0.15 \pm 0.03	0.14 \pm 0.01
660 nm	0.24 \pm 0.05	0.18 \pm 0.01	0.18 \pm 0.05	0.14 \pm 0.01
735 nm	0.24 \pm 0.03	0.20 \pm 0.04	0.17 \pm 0.03	0.18 \pm 0.03
암	0.26 \pm 0.03	0.20 \pm 0.07	0.17 \pm 0.03	0.18 \pm 0.06

[0045]

처리	NPQ 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
420 + 660 nm	0.53 ± 0.04	0.52 ± 0.03	0.43 ± 0.06	0.31 ± 0.03
FS	0.53 ± 0.06	0.33 ± 0.04	0.34 ± 0.03	0.34 ± 0.04
420 nm	0.52 ± 0.02	0.42 ± 0.03	0.41 ± 0.02	0.39 ± 0.02
735 nm	0.52 ± 0.06	0.45 ± 0.07	0.40 ± 0.06	0.41 ± 0.04
660 nm	0.55 ± 0.07	0.47 ± 0.07	0.49 ± 0.03	0.44 ± 0.08
암	0.50 ± 0.02	0.50 ± 0.07	0.50 ± 0.04	0.48 ± 0.05
530 nm	0.51 ± 0.07	0.47 ± 0.05	0.49 ± 0.08	0.49 ± 0.08

[0046]

[0047]

표 2. 파란색 (420 nm), 녹색 (530 nm), 빨간색 (660 nm) 내지 근적외선 (735 nm)의 범위에서 다르게 혼합된 개별적인 LED 그룹 하에서 그리고 암(dark)에서 PSII 흥분압 (1-qP) 및 광화학적 퀸칭 (NPQ)의 회복. 상기 실험이 20분, 1시간 및 2시간 동안 회복되는 때에 측정을 했다. 값들은 평균값 ± 표준 오차, n = 3-9를 의미한다. 1- qP 및 NPQ에 대한 전-광역제성 값들은 각각 1.0 및 0.28였다.

[0048]

따라서, 530 nm 하에서 및 암에서 회복된 앞에서 지속된 크산토펜 사이클을 관찰하였다.

[0049]

전형적인 실험에 관련하여, 앞에서 REP는 FS 하의 700-702 nm, 420 nm +660 nm, 530 nm 및 암 처리 하에서 전-광역제성 값들까지 회복시켰지만 420 nm, 630 nm 및 735 nm 회복 처리 하에서는 거의 회복되지 않았다.

처리	REP 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
FS	697 ± 0.6	699 ± 0.5	699 ± 0.8	701 ± 0.8
420 + 660 nm	697 ± 0.7	699 ± 0.5	699 ± 0.7	700 ± 0.9
암	698 ± 0.3	700 ± 0.6	701 ± 1.2	700 ± 1.0
530 nm	698 ± 1.4	700 ± 1.3	700 ± 1.8	700 ± 1.1
420 nm	698 ± 0.6	699 ± 0.5	699 ± 0.5	699 ± 1.4
660 nm	698 ± 0.5	699 ± 0.4	699 ± 0.9	699 ± 0.7
735 nm	697 ± 0.6	699 ± 0.7	699 ± 0.8	699 ± 0.7

[0050]

처리	PRI 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
FS	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.08 ± 0.01
420 + 660 nm	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.00
530 nm	0.07 ± 0.02	0.07 ± 0.02	-	0.06 ± 0.02
420 nm	0.08 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.05 ± 0.01
735 nm	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01
660 nm	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01
암	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.03
처리	Chl NDI 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
암	0.31 ± 0.02	0.32 ± 0.01	0.29 ± 0.04	0.34 ± 0.03
FS	0.28 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.30 ± 0.02
420 + 660 nm	0.26 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.30 ± 0.02
660 nm	0.30 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.01
530 nm	0.26 ± 0.02	0.29 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.27 ± 0.02
735 nm	0.30 ± 0.03	0.29 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.27 ± 0.01
420 nm	0.29 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.29 ± 0.05
처리	NBVI 회복 시간 (분)			
	0	20	60	120
FS	2.3 ± 0.2	2.7 ± 0.1	2.4 ± 0.2	3.1 ± 0.3
암	2.4 ± 0.2	2.7 ± 0.1	3.1 ± 0.3	2.9 ± 0.2
420 + 660 nm	2.2 ± 0.2	2.8 ± 0.3	2.7 ± 0.2	2.8 ± 0.2
660 nm	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.2	2.9 ± 0.2	2.4 ± 0.1
530 nm	2.2 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.1 ± 0.1	2.2 ± 0.1
735 nm	2.3 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.1 ± 0.1
420 nm	2.4 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.1 ± 0.2

[0051]

[0052]

표 3. 파란색 (420 nm), 녹색 (530 nm), 빨간색 (660 nm) 내지 근적외선 (735 nm)의 범위에서 다르게 혼합된 개별적인 LED 그룹 하에서 그리고 암(dark)에서 잎-위 반사율 지수들인 REP (a), PRI (b), Chl NDI (c) 및 NBVI (d)의 회복. 상기 실험이 20분, 1시간 및 2시간 동안 회복되는 때에 측정을 했다. 값들은 평균값 ± 표준 오차, n = 3-9를 의미한다. REP, PRI, Chl NDI 및 NBVI에 대한 전-광역제성 값들은 각각 701 nm, 0.10, 0.38 및 3.2였다.

[0053]

PRI의 회복은 1.0의 전-광역제 값에 도달하지 못 했다. 하지만, 잎에 대한 PRI는 0.08 및 0.07로 회복된 FS 및

420 nm + 660 nm 하에 회복된 반면에 다른 치료들 하에서 PRI는 동일하게 남아있거나 또는 지속적으로 하락한 채였다. 0.39의 전-광역제성 값에 가까운 Chl NDI의 회복은 암 처리 하에 회복된 잎들 (0.34)에서만 명백하였지만, 모든 다른 처리들에서는 상기 Chl NDI의 회복이 거의 없거나 회복되지 않았다. 평균 전-광역제 NBVI 값은 3.3이었으며 잎들이 이 값 (3.1)에 가장 근접하게 회복되었던 FS 하에서 회복하였고 다음으로 암 (2.9) 및 420 nm + 660 nm (2.8) 처리들이었다. 모든 다른 회복 처리들에 대한 NBVI에서는 어떤 명백한 회복이 없었다. 도 8a-d를 볼 때, 잎 반사율 파라미터들과 광역제 (F_V/F_M) 간의 강한 연관성과는 대조적으로, 상기 잎 반사율 파라미터들과 F_V/F_M 의 회복 간에 거의 연관성($r^2 = 0.02-0.21$)이 없었다. 도 9a-d를 보라.

[0054] 본 발명과 관련하여, 더 넓은 스펙트럼 (즉, 하나 이상의 LED 그룹)이 회복의 최적 속도(rates) 및 정도(extents)에 대해 필요하다는 것이 밝혀졌다(표 1). 단일 LED 그룹 하에서의 회복과 비교하여 전영역 스펙트럼 성장 스펙트럼 (FS) 그리고 파란색 (420 nm) 및 빨간색 (660 nm) 광의 조합 하에서 회복된 잎들에서 F_V/F_M 회복의 더 빠른 속도 및 가장 큰 정도가 관찰되었다. 광화학적 퀸칭 (q_P) 및 비-광화학적 퀸칭 (NPQ)은 광합성 조직 (apparatus)에 심각한 손상을 주는 스트레스 상황들 하에서 단일항 산소(singlet oxygen)의 생산을 최소화시킨다 (Muller et al. 2001).

[0055] FS 및 420 nm + 660 nm 하의 회복은 F_V/F_M 의 가장 빠른 회복을 초래하였고, 이는 $1-q_P$ 의 완화(relaxation)에 기인할 수 있으며, FS의 경우에는 NPQ의 역전(reversal)에 기인할 수 있다 (표 1, 2). 420 nm + 660 nm NPQ 하의 회복은 첫 번째 시간 동안 지속된 NPQ에 초래되었고 이에 따라 PSII 반응 센터 ($1-q_P$)의 오픈(opening)이 광합성의 빠른 회복을 위해 충분하였다 (표 1, 2). NPQ는 3개의 구성성분들로 구성되는데, 첫 번째 및 일차 구성성분인 q_E 는 가장 빠른 구성성분이고, pH- 또는 에너지-의존성 구성성분이다; 두 번째 구성성분인 q_T 는 상태 전이(state transitions)를 포함하며 조류(algae)와 비교하여 식물에서 중요하지 않은 역할만 하는 것으로 고려된다; 상기 세 번째 구성성분인 q_I 는 천천히 가역가능하고 완전히 이해되지 않지만 광-보호(photo-protection) 및 광-손상(photo-damage)의 혼합이라고 생각된다 (Muller et al. 2001).

[0056] 이로부터 FS가 전자 전달 연쇄계(electron transport chain)의 과다-감소 및 루멘의 과다-산성화(acidification)을 억제하는 것에 의해 NPQ를 완화시키기에 충분한 반면에 420 nm + 660 nm 하의 회복이 보다 복잡하고 광화학의 회복이 있을 지라도 여전히 발생하는 광-손상이 있다는 것이 제시될 수 있다.

[0057] 엽록소 형광 파라미터들의 회복이 각 회복 처리에 대해 순위를 정했다.

랭킹	k	a	F_V/F_M	$1-q_P$	NPQ
1	FS	FS	FS	B+R	B+R
2	B+R	B+R	B+R	FS	FS
3	660 nm	420 nm	420 nm	530 nm	420 nm
4	420 nm	660 nm	660 nm	420 nm	735 nm
5	530 nm	530 nm	530 nm	660 nm	660 nm
6	735 nm	암	암	735 nm	암
7	암	735 nm	735 nm	암	530 nm

[0058] 표 4. 내림 차순으로 다양한 LED 및 암 회복 처리들의 랭킹(ranking). F_V/F_M 회복에 대한 속도 상수(Rate constant), k; F_V/F_M 회복에 대한 최대 능력, a; 최대 PSII 광화학적 효율의 회복, F_V/F_M ; PSII 흥분압, $1-q_P$; 및 비-광화학적 퀸칭, NPQ.

[0060] 낮은 강도 '백색' 광 하의 광합성이 암 조건 하에서의 회복과 비교되는 경우 회복을 위해 필요하다는 것이 받아들여진다 (Yokthongwattana and Melis 2005, Mohanty et al. 2007, Raven 2011).

[0061] 따라서, 광합성이 작동할 수 없는 암에서 회복하는 잎에서 회복의 가장 낮은 속도 및 정도였다는 것이 놀랍지는 않다. 하지만, 근적외선 하에서의 광역제로부터의 회복이 없었다는 것이 놀라웠다. 근적외선 하에서 F_V/F_M 의 회복은 끝에서 두 번째에 위치하였으며 회복의 속도 및 정도에서는 각각 마지막이었고 암 하에서의 회복과 유사하였다 (표 4). 식물이 케노피 내 및 아래 같은 근적외선 풍부 환경에서 발달시키고 적응시켰으며 이 환경에서 광합성 및 광-보호에 대한 능력을 모두 가진다 (Aphalo et al. 1999). 800 nm까지의 근적외선은 공여 면(donor side) 및 수용 면(acceptor side) 모두에서 PSII 광화학을 가속시킬 수 있었고 근적외선 흥분에 대한 택일적인 전하 분리 경로(charge separation pathway)가 존재한다는 것이 제안되었다 (Thapper et al. 2009).

[0062] 광보호에 관해서, 전자 전달 연쇄계에서 에너지 불균형이 각각 광시스템 화학량론에서의 상태 전이 또는 변형인

짧은-기간 및 오랜-기간 보호성 기작들 중 어느 하나를 통해 근적외선 하에서 약화될 수 있다는 것이 잘 알려져 있다 (Kim et al. 1993, Anderson et al. 1995, Melis et al. 1996, Wollman 2001, Allen and Forsberg 2001, Shapiguzov et al. 2010). NPQ가 완화시킬 수 있고 PSII 광화학이 근적외선 하에서 적당히 회복 ($1-q_p$)시킬 수 있을 지라도, 잎들은 PSII 광화학적 효율 (F_v/F_m)의 속도 또는 정도를 회복시킬 없었다. 추가적인 조사를 위한 주제는 근적외선 하의 회복 동안 낮은 F_v/F_m 값이 손상 또는 조절 및 유지된 PSII의 하향-조절로 인한 것인지를 결정하는 것이다.

[0063]

회복에 대해 각 LED 그룹의 기여를 추가적으로 이해하기 위해 광역제로부터의 회복도 지구상 서식지에서 전형적으로 발견되지 않는 개별 광 특질 하에서 조사되었다. 개별 빨간색 (660 nm) 및 개별 파란색 (420 nm) 광 특질 하에서의 F_v/F_m 의 회복 정도는 유사하였으며 FS 및 420 + 660 nm의 아래인 세 번째 및 네 번째에 위치하였다 (표 4). 따라서, 빨간색 광 또는 파란색 광 단독이 완전한 회복의 정도를 위해 필요한 복구의 과정들을 유도 또는 유지하기에 충분하지 않았다는 것처럼 보인다. 420 nm 광 하에서 완전한 회복의 부족은 파란색 광에 의한 식물 상에 부작용으로 인한 것일 수 있다. 예를 들어, 광역제는 산소 발생 복합체(oxygen evolving complex) 내 마그네슘에 의한 흡수로 인해 PSII의 불활성화를 통해 낮은 파란색 광 하에서 일어난다 (Hakala et al. 2005, Takahashi and Murata 2008). 파란색 광도 엽록소에 대한 파란색 광 흡수 카로테노이드에 의해 불충분한 에너지 전달 및 광화학적 효율에서의 파란색-광 유도된 감소 중 어느 하나를 통해 광합성에서의 감소를 야기한다 (Loreto et al. 2009). 광합성 또는 광-보호 상에서의 빨간색 광에 대해서는 거의 알려져 있지 않다.

[0064]

빨간색 광 (660 nm) 단독 하에서의 생장은 무, 시금치 및 상추에서 적은 건조 중량 축적을 초래하였지만 무에서 광합성 속도가 더 낮았는데, 이는 광 특질에 대한 광합성 반응이 특이적인 잠재적 종이라는 것을 나타낸다 (Yorio et al. 2001). Hogewoning 등 (2010)은 빨간색 광 하에서 성장된 오이가 차가운 백색 형광등 및 파란색 (450 nm) 및 빨간색 (638 nm) LEDs가 함께 혼합된 경우와 비교하여 낮은 광합성 능력(A_{max})를 가진다는 것을 관찰하였다. 상기 발명자들은 빨간색과 혼합된 30% 파란색 광이 최적 광합성을 위해 필요하다는 것을 발견하였다.

[0065]

더 나아가, 엽록소 형광 이미징은, 파란색 광과는 대조적으로, 빨간색 광 하에서의 생장은 잎맥 다음의 조직에서 약 0.8의 값 및 잎맥 간에는 0.55-0.70의 값을 가지는 F_v/F_m 의 이질성 분포를 초래한다는 것을 밝혔다 (Hogewoning et al., 2010). 두 개의 관찰들은 여기에서: 1) 상술한 발견들은 전체 잎 또는 잎의 동일한 위치에서 지속적으로 광화학을 평가하는 것의 중요성 및 필요성을 보여주고 2) LEDs의 피크 최대점 및 광 특질 실험들에서 다양한 광원을 가지는 필터의 이용은 주의깊게 제한되고 해석될 필요가 있다는 것을 밝힌다.

[0066]

후자 실험들에서 이용된 상기 빨간색 LED는 광-손상에 대한 활성 스펙트럼 내 피크들 중 하나에 가까운 638 nm의 피크 최대점을 가졌다 (Takahashi et al. 2010). 일반적인 믿음과 달리, 녹색 광은 광합성에 참여한다 (McCree 1972, Sun et al. 1998, Nishio 2000, Terashima et al. 2009). 녹색 광 하에서의 회복은 F_v/F_m 회복의 속도 및 정도와 관련하여 다섯 번째에 위치하였다 (표 4). 암에서 회복과 유사하게도, NPQ는 상술한 회복 조건 하에서 지속된 크산토폴 사이클을 나타내는 회복 전반에 걸쳐서 지속되었다 (표 2).

[0067]

따라서, 녹색 광에서의 F_v/F_m 회복의 부재는 광이 광시스템, 특히 잎의 배측면에 도달하는 것을 억제하는 활성 크산토폴 사이클로 인한 것일 수 있다 (Demmig-Adams and Adams 1996, Terashima et al. 2009). 녹색 광 하에서의 회복 동안 흥미로웠던 것은 $1-q_p$ 의 완화에 의해 관찰되는 대로 전자 전달을 다시 할 수 있는 능력에서 세 번째에 위치하였다는 것이었다 (표 2). 이러한 마지막 결과는 잎의 더 깊은 층들에서 녹색 광 추진성(driving) 광합성으로 인한 것일 수 있다 (Vogelman and Han 2000).

[0068]

분광계의 이용가능성 및 적절한 비용성(affordability) 그리고 기후 변화, 전세계적인 육상 및 수중 식생 패턴 및 식물 스트레스를 조사하고자 하는 원격 감지에 대한 흥미로 인해 스트레스를 진단하기 위한 수단으로서 식물 잎 반사율의 이용이 증가하고 있다 (Geider et al. 2001, Carter and Knapp 2001). 식물에서 스트레스를 검출하기 위해 엽록소 형광에 대한 대체 수단으로서 식물 잎 반사율의 이용을 지지하는 일부 증거가 있다 (Penuelas and Filella 1998, Lichtenthaler et al. 1998). 하지만, 최근 연구들은 잎 반사율을 식물 스트레스와 관계시키는 경우 일차성의 부재가 있고 이는 대부분 다른 색소들, 원격 감지를 위한 실험실들 간의 표준화된 방법들의 부재를 위한 식생과 토양의 타입 및 특성들 간의 다양성()에 의한 간섭으로 인한 것 같다는 것을 보였다 (Grace et al. 2007). 광역제와 연관된 잎 반사율 파라미터들은 REP, PRI, NBVI 및 Chl NDI였다 (도 5). 상술한 네 개의 특이적인 잎 반사율 지수들은 높은 광 및 낮은 온도 스트레스의 우수한 지시인자들이었다. 정말로, 스트레스-유도된 엽록소 함량의 감소는 REP에서의 변화에 의해 반영되고 이는 종- 또는 색소-의존적이 아니라는 것이 보

고되었다 (Carter and Knapp 2001, Richardson et al. 2001, Sims and Gamon 2002, Ciganda et al. 2009). 엽록소 형광의 방출이 스펙트럼의 빨간색 및 근적외선 부분에서 일어나며 REP에서의 쉬프트는 부분적으로 크산토피일 사이클을 통한 엽록소 형광의 퀸칭으로 인한 것이라는 것이 밝혀졌다 (Gamon et al. 1990). 회복 동안 REP, PRI, NBVI 및 Ch NDI를 모니터링하였고, 광억제와 대조적으로, 약할 지라도 광억제의 회복과 관계된 잎 반사율 파라미터는 도 9에서 보여지듯이 오직 REP였다.

[0069] 전형적인 실험과 관련하여, 광합성의 회복 (F_v/F_m) 또는 전자 전달 연쇄계 ($1-q_p$) 또는 NPQ의 환원 상태의 완화와 PRI, Ch NDI 또는 NBVI 간에 어떠한 연관성도 발견되지 않았다. 이것은 PRI가 크산토피일 사이클의 탈에폭시화 상태(deepoxidation state)와만 적절하게 연관되어 있을 뿐 PSII 광화학 (ϕ_{PSII}) 또는 NPQ의 효과적인 양자 산출(quantum yield)과 연관되지 않았다는 Busch 등 (2009)의 발견과 유사하다. PRI가 모든 비-광화학적 퀸칭이 반드시 제아크산틴 의존적이지 않기 때문에 그들은 NPQ의 좋은 지시인자가 아니라고 제안한다. 결론적으로, 잎-위 반사율 파라미터들의 이용은 회복과 관련된 것이 아니라 광억제와 잘 연관되어 있었다 (도 5, 7).

[0070] 본 발명에 따르면, '혼합된(mixed)' 스펙트럼이 바질에서 F_v/F_m 의 최적 회복을 위해 필요하다는 것이 확립될 수 있다. 아마도 복구 기작에 대한 에너지 요구 및 손상성 단일항 산소의 억제를 이루기 위해 광합성을 충분하게 가속하는 능력으로 인해 완전한 스펙트럼 또는 파란색 및 빨간색 광의 최소 혼합물이 요구되었다. 530 nm, 735 nm 또는 압 회복 처리보다 더 높은 순위에 위치하는 660 nm 및 420 nm를 가지는 '혼합된' 광보다 덜한 정도로 개별 LED 그룹들 하에서의 회복을 관찰하였다 (표 4). Schreiber 등 (2012)은 최근에 측정하고 화학선의 광 스펙트럼이 시아노박테리아 및 녹조류에서 형광 측정 상에 효과를 가진다는 것을 보였다 (Schreiber et al. 2012). 광시스템 II 손상 및 광억제에 대한 활성 스펙트럼과 커플링되어 (Takahashi et al. 2010, Sarvikas et al., 2006), 전형적인 실험은 스펙트럼 질이 생리학적 성장 조건 및 측정 동안 보다 근접한 고려를 함께 중요하다는 것을 지적한다.

[0071] 도 10에 대한 추가적인 참조와 함께, 조명 시스템 100의 작동 중에 조명 시스템 100의 광원 102-116은 상기 식물 118을 조사하는 조명 시스템 100을 제어, S1, 하는 제어 유닛 122에 의해 조절되고, 상기 방출된 광은 첫 번째 스펙트럼 분포 및 첫 번째 강도 레벨을 가지며, 상기 첫 번째 스펙트럼 분포 및 상기 첫 번째 강도 레벨은 상기 추가적으로 논의된 대로 상기 식물의 성장을 최적화시키기 위해 선택된다. 이후에, 상기 센서 120은 상기 식물 116으로부터 피드백을 받고, 상기 제어 유닛 120과 함께 검출, S2, 한다. 스트레스가 검출되는 경우, 예를 들어 광, 온도, 영양분, 가뭄, 해충 및 질병 중 하나에 의해 유도되는 경우에, 상기 제어 유닛은 두 번째 스펙트럼 분포 및 두 번째 강도 레벨을 가지는 광으로 상기 식물 118을 조사하기 위해 상기 조명 시스템 100을 조절, S3, 하도록 차례로 설정되고, 상기 두 번째 강도 레벨은 상기 첫 번째 강도 레벨보다 더 낮다.

[0072] 상기 논의된 대로, 이것은 상기 식물을 조사하는 것을 위해 이용되는 광 스펙트럼 뿐 아니라 강도 레벨을 조정함으로써 스트레스 감소 및/또는 회복의 자동화(automation)를 허용한다.

[0073] 본 발명의 개시사항은 다양한 동작을 수행하기 위한 어떠한 기계-관독가능한 매체(media) 상의 방법, 시스템 및 프로그램 산물을 고려한다. 존재하는 컴퓨터 프로세서를 이용하거나, 또는 본 목적 또는 다른 목적을 위해 삽입되는 적절한 시스템을 위한 특정 목적의 컴퓨터 프로세서에 의하거나, 또는 하드 와이어 시스템에 의해 본 발명의 개시사항의 구현예들을 실시할 수 있다. 본 발명의 개시사항의 범위 내 구현예들은 매체 내에 저장된 기계-실행가능한 명령들 또는 데이터 구조들을 운반하거나 또는 가지기 위한 기계-관독가능한 매체를 포함하는 프로그램 산물들을 포함한다. 그러한 기계-관독가능한 매체는 프로세서를 가지는 일반적인 목적 또는 특이적 목적 컴퓨터 또는 다른 기계에 의해 접근가능할 수 있는 어떠한 이용가능한 매체일 수 있다. 한 예로서, 그러한 기계-관독가능한 매체는 RAM, ROM, EPROM, EEPROM, CD-ROM 또는 다른 광학 디스크 저장, 자성 디스크 저장 또는 다른 자성 저장 장치들, 또는 기계-실행가능한 명령들 또는 데이터 구조들의 형태에서 소망된 프로그램 코드를 운반 또는 저장하는 데 이용될 수 있는 어떠한 다른 매체 그리고 프로세서를 가지는 일반적인 목적 또는 특이적 목적 컴퓨터 또는 다른 기계에 의해 접근가능할 수 있는 어떠한 다른 매체를 포함할 수 있다.

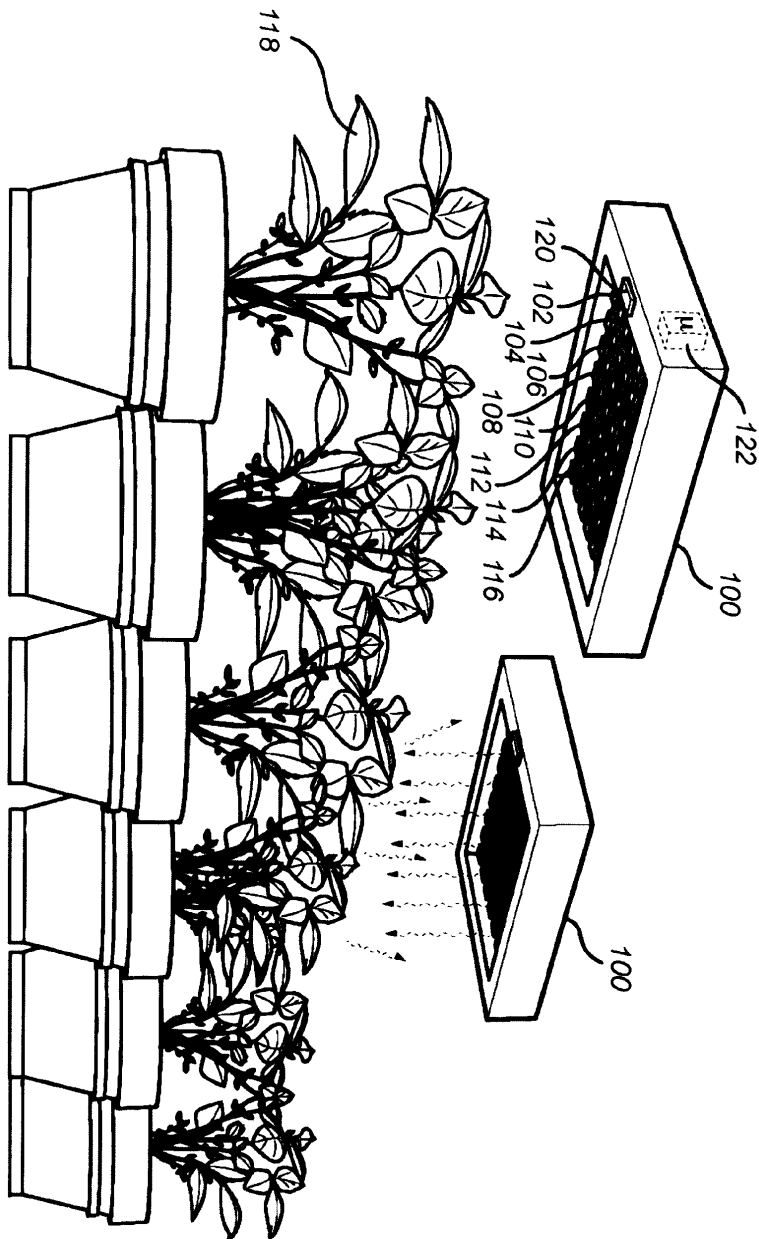
[0074] 정보가 네트워크 또는 다른 통신 연결(communications connection) (하드와이어, 무선, 또는 하드와이어 또는 무선의 조합 중 어느 하나)을 따라 기계로 전송 또는 제공되는 경우, 상기 기계는 기계-관독가능한 매체로서 연결을 적절하게 보여준다. 따라서, 어떤 그러한 연결을 기계-관독가능한 매체로 타당하게 명명한다. 상기 연결의 조합들도 기계-관독가능한 매체들의 범위 내에 포함된다. 기계-실행가능한 명령들은, 예를 들어 일반적인 목적 컴퓨터, 특이적 목적 컴퓨터, 또는 특이적 목적 프로세싱 기계들이 어떤 기능 또는 기능들의 그룹을 실시하도록 하는 명령들 및 데이터를 포함한다.

[0075]

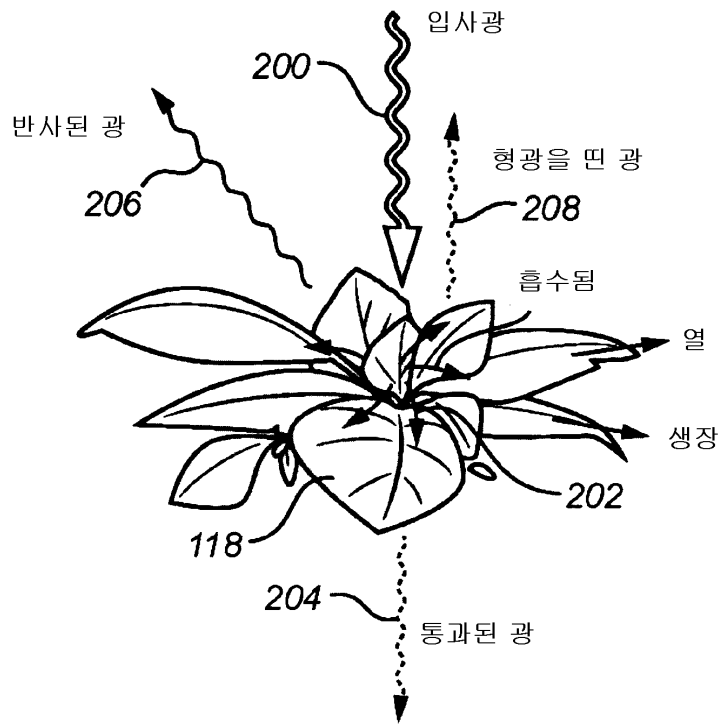
도면들이 방법 단계들의 특이적 순서를 보여줄 지라도, 상기 단계들의 순서가 예시된 것과 다를 수 있다. 또한 두 개 이상의 단계들이 동시에 또는 일부 동시적으로 실행될 수 있다. 그러한 변동은 선택된 상기 소프트웨어 및 하드웨어 시스템들 및 디자이너 선택에 의존할 것이다. 그러한 모든 변동들은 본 발명의 개시사항의 범위 내에 있다. 유사하게도, 소프트웨어 구현(software implementations)은 다양한 연결 단계들, 프로세싱 단계들, 비교 단계들 및 결정 단계들을 달성하기 위한 규칙 기반된 로직(logic) 및 다른 로직을 가지는 표준 프로그래밍 기술들로 달성될 수 있다. 또한, 비록 본 발명이 본 발명의 예시하는 특이적 구현예들을 참조하여 기재되어 있을지라도, 다른 많은 변형(alterations), 변경(modifications) 및 이와 유사한 것들이 당업자에게 명백할 것이다. 상기 도면들, 개시사항, 및 첨부된 청구항들의 연구로부터 요구된 본 발명을 실시함에 있어 상기 개시된 구현예들에 대한 변동이 당업자(skilled addressee)에 의해 이해되고 유효화될 수 있다. 더욱이, 청구항들에서, 단어 "포함하는(comprising)"은 다른 엘리먼트들 또는 단계들을 배제하지 않고, 부정관사 "a" 또는 "an"은 복수를 제외하지 않는다.

도면

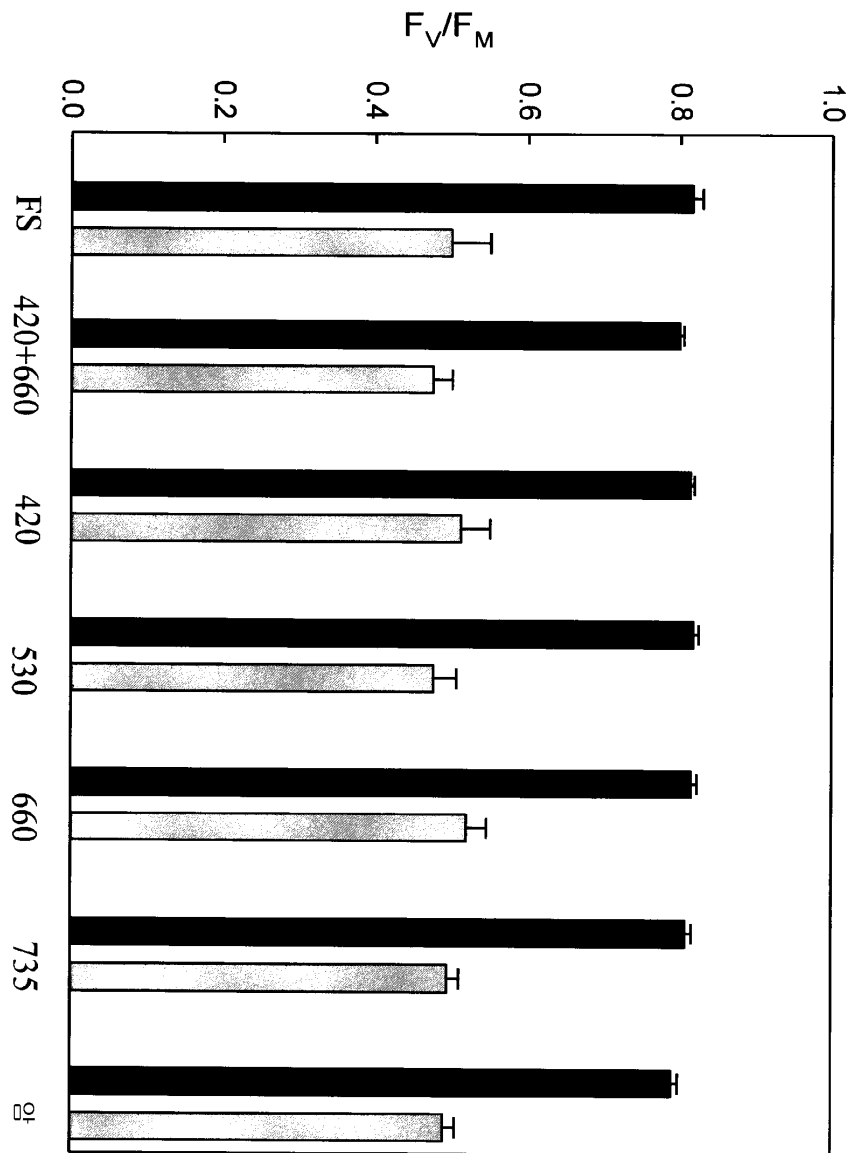
도면1



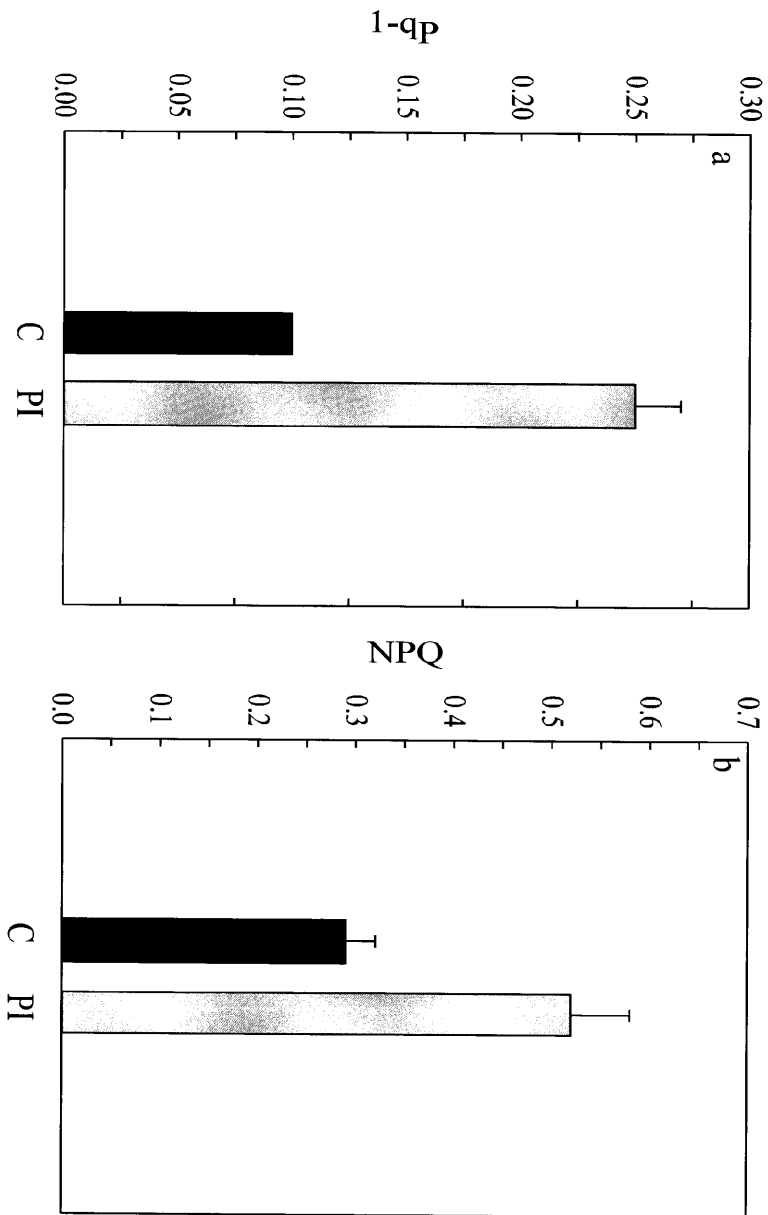
도면2



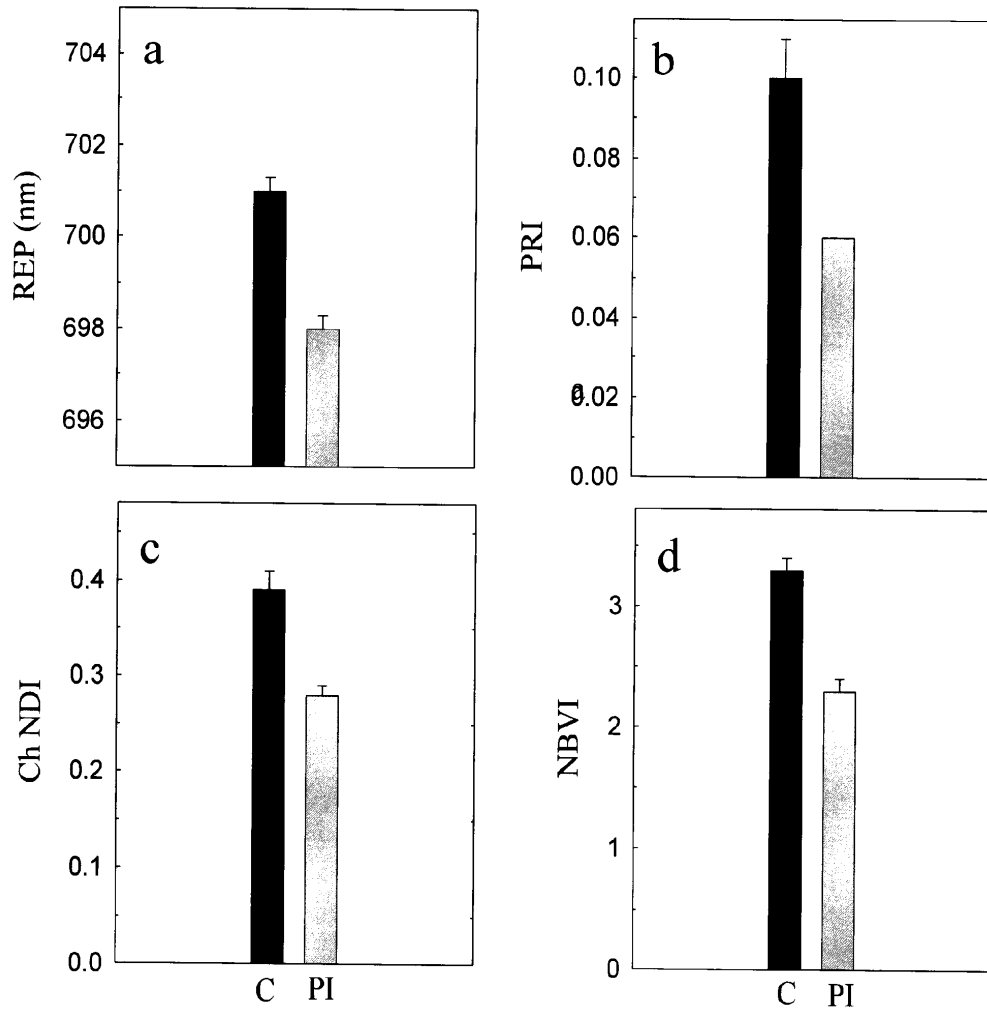
도면3



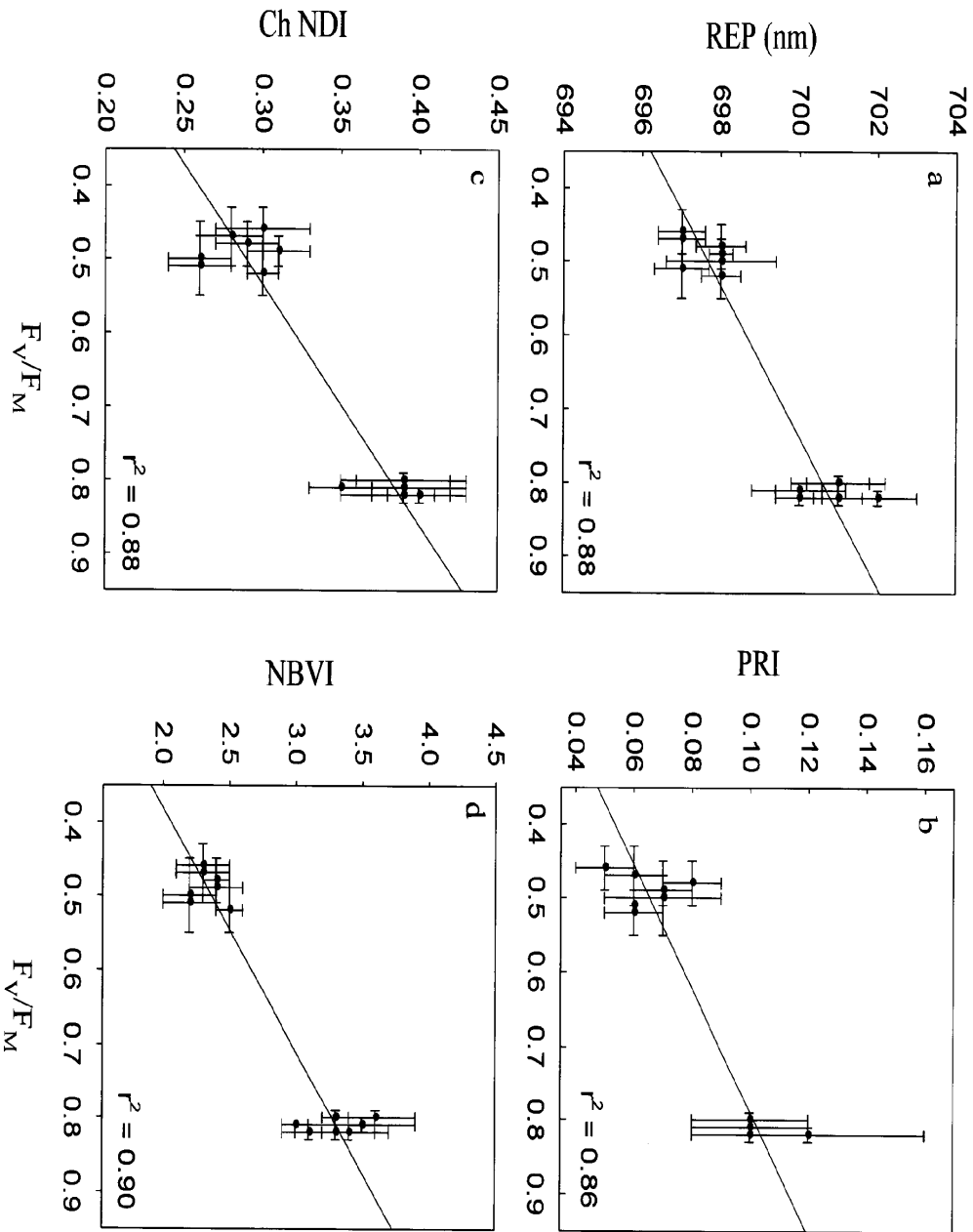
도면4



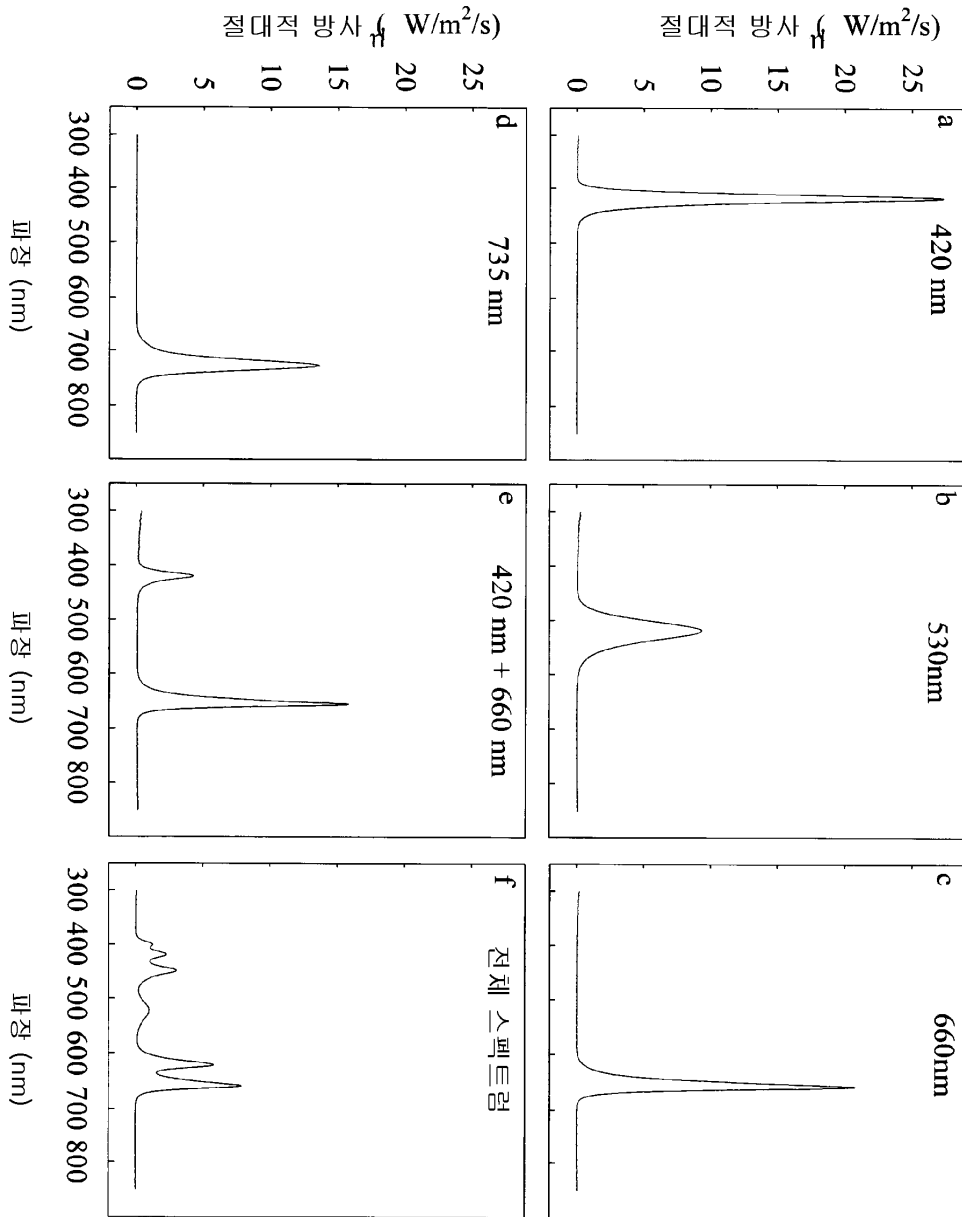
도면5



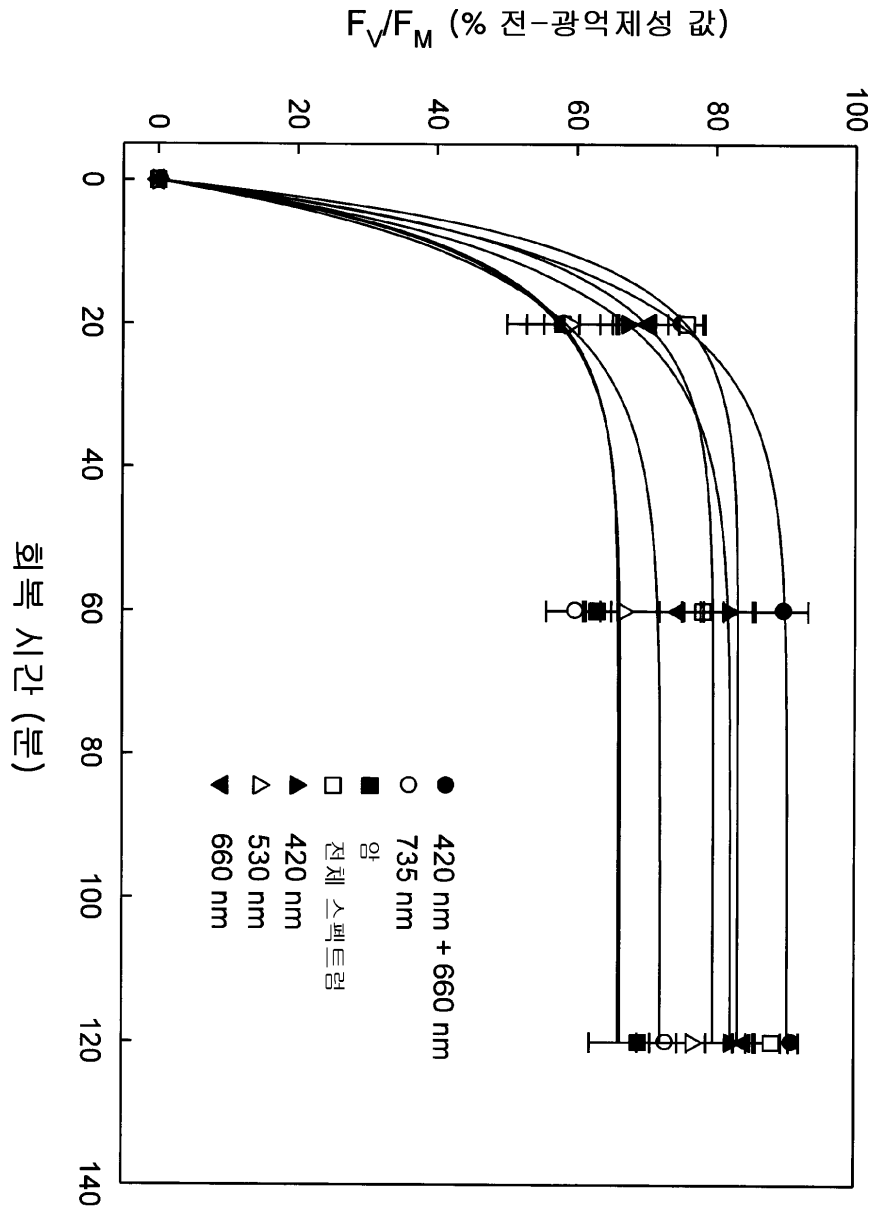
도면6



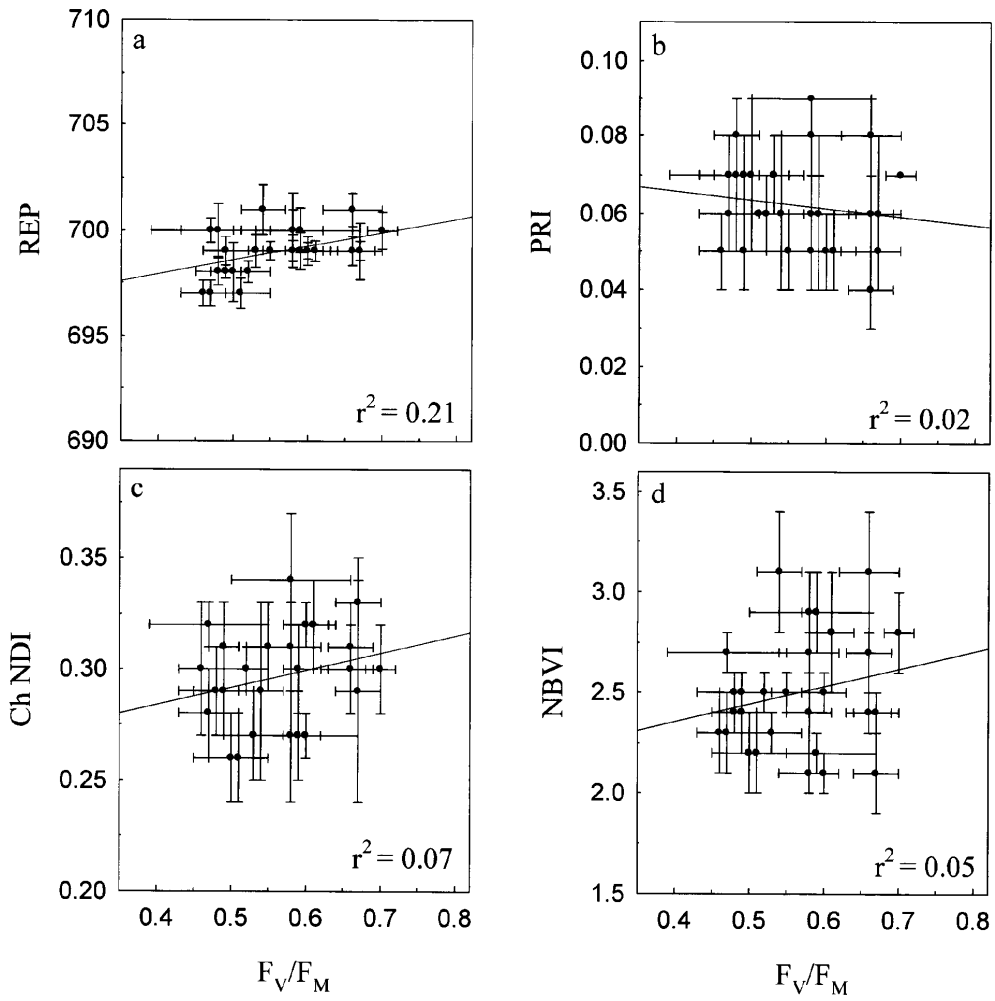
도면7



도면8



도면9



도면10

