



즉시 / 2022. 11. 2.(수)

연구책임자 류영렬 교수 (02-880-4871) / 교신저자
연구진 김종민 연구원 (02-880-4741) / 제1저자

식생 스트레스 조기탐지 시스템 개발

- 서울대학교 조경·지역시스템공학부 류영렬 교수 연구팀(1저자 김종민 박사)은 분광 필터 및 포토다이오드를 이용하여 태양 유도 엽록소 형광 물질(SIF)을 간단하면서도 저렴한 비용으로 탐지하는 기술을 개발하였다.
- SIF는 적색부터 근적외선까지 식생에서 직접 방사되는 미량의 빛으로, 광합성량과 Non-photochemical quenching (NPQ)와 직접적인 관계를 맺고 있어 식생 스트레스 조기탐지의 지표로 최근 각광받고 있다.
- 최근 수많은 선행 연구팀들이 SIF를 탐지하기 위하여 상업적으로 판매되는 분광계 기반의 근접 원격탐사 시스템들을 개발하고 있으나, 아직 다음과 같은 한계점들이 있다. 1) 분광계의 성능은 외부 환경의 온도 및 습도에 큰 영향을 받아, 이를 외부에서 안정적으로 사용하기 위해서는 추가적인 환경 통제가 요구된다. 2) 상업적으로 판매되는 SIF 탐지 시스템은 높은 가격대를 형성하고 있다. 3) 상업적으로 판매되는 SIF 탐지 시스템은 사용 방법이 어려워 진입장벽이 높다.
- 연구팀은 분광 필터 및 포토다이오드를 결합하여, 손쉽게 SIF를 탐지할 수 있는 시스템을 개발하였다. SIF는 두 개 이상의 매우 좁은 파장대(<1 nm)를 정밀하게 관측하면 탐지할 수 있다. 연구팀은 대기 중 산소가 빛

을 흡수하는 파장대와 산소에 영향을 받지 않는 파장대를 선별적으로 선정하고, 이를 활용하여 SIF를 탐지하였다.

- 연구팀이 개발한 시스템을 이용하여 탐지한 SIF와 상업적으로 판매되는 분광계로부터 도출한 SIF는 높은 상관관계를 보였다.
- 무엇보다, 제초제(DCMU) 처리한 실험구와 대조구 실험에서, 개발한 SIF 시스템은 육안과 기존에 널리 사용되는 식생지수보다 4일 이상 앞서 제초제 효과를 탐지하였다.
- 서울대학교 조경.지역시스템공학부 류영렬 교수는 “이 논문의 핵심은 손쉬운 방법으로 저렴하게 SIF를 탐지할 수 있다는 점이며, 향후 조경, 농업, 임업 등 식생 관리 및 모니터링에 널리 활용될 것으로 기대한다”라고 전망하였다.
- 이번 연구성과는 저명 국제학술지 “환경원격탐사 (Remote Sensing of Environment)” 2022년 12월호에 게재되었다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명
4. 연구진 이력사항

연구결과

Development of a filter-based near-surface remote sensing system to retrieve far-red sun-induced chlorophyll fluorescence

Kim, J., Ryu, Y.*, Dechant, B.

(Remote Sensing of Environment, 283, 113311)

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113311>

1. 연구배경

“육상생태계의 광합성량은 얼마인가?”

산업혁명 이후 화석 연료의 무분별한 사용으로 대기 중 이산화탄소는 기하급수적으로 증가하였고, 오늘날 인류가 당면한 최대 위기 중 하나는 기후변화다. 육상생태계 광합성은 대기 중 이산화탄소를 감축시킬 수 있는 가장 효율적인 기작이며 이를 정량화하는 것은 기후변화, 탄소 순환, 그리고 탄소 배출권과 직접적인 관련이 있다. 그럼에도 불구하고, 아직도 육상생태계 광합성량 추정에 불확도가 높다.

태양 유도 엽록소 형광 물질(SIF, Sun-induced chlorophyll fluorescence)은 광합성량의 추정 지표로 주목받고 있다. SIF는 식생이 흡수한 태양광 중 1-3 % 정도가 식물 내에서부터 형광으로 방사되는 빛이며, 광합성 및 Non-photochemical quenching (NPQ)과 직접 관련되어 있어 육상생태계 광합성량 추정 및 식생스트레스 조기탐지에 매우 유용하다. 근접 표면 원격 센서를 이용하여 SIF탐지가 가능하다는 연구들이 2000년대에 보고된 이후, 전 세계적으로 현장에서 SIF를 탐지하기 위한 기술들이 개발되고 있다.

SIF는 식생에 의해 흡수된 태양광 중 엽록소로부터 방사되는 아주 미량의 빛이기 때문에 높은 정확도로 탐지하기 힘들다. 본 연구팀은 분광 필터와 포토다이오드를 결합하여, SIF를 탐지하는 방법을 고안하였다. SIF는 2개 이상의 특정 파장대의 빛을 정밀하게 관측하면 추출할 수 있다. 대기 중 산소는 특정 파장대(760.6 nm)의 빛을 흡수하는데 이는 SIF의 파장대와 겹친다. 산소가 빛을 흡수하는 파장대와 산소에 영향을 받지 않는 파장대를 동시에 관측하고 이를 상대적으로 비교하면 SIF 추정이 가능하다.

2. 연구내용

연구팀은 SIF를 보다 손쉽게 저렴하게 탐지할 수 있는 관측시스템을 개발하고 이를 평가하였다.

먼저, 포토다이오드와 분광 필터를 결합하여, 산소가 빛을 흡수하는 파장대와 그렇지 않은 파장대를 정밀하게 관측할 수 있는 시스템을 개발하였다. 한 개의 포토다이오드에 3개의 분광 필터와 모터를 결합한 구조물을 부착시켜, 3개 파장대의 광량을 한 개의 포토다이오드로 관찰할 수 있도록 설계하였다. 시스템 설계 시, 포토다이오드의 성능, 분광 필터의 성능이 온도에 변화하는 정도를 정량화하고 보정을 진행하였다.

개발한 관측시스템을 서울대학교 농업 생명과학 옥상 텃밭에 설치하고 실제 식생에서 방사되는 SIF를 탐지할 수 있는지 확인하였다. 개발한 관측시스템의 평가를 위하여, 상업적으로 판매되는 분광계 시스템을 같이 설치하였다. 개발한 관측시스템에서 얻은 SIF와 상업적으로 판매되는 분광계 시스템에서 얻어진 SIF는 매우 높은 상관관계를 보였다. 추가로 연구팀은 제초제(DCMU)를 식물에 투여하여 방사되는 SIF량을 인위적으로 증폭시켰을 때도 개발한 관측시스템이 SIF의 증

가를 탐지하는 것을 확인하였다. 특히 육안과 기존에 널리 사용되던 식생지수보다 4일 이상 앞서 제초제의 효과를 조기탐지하였다.

3. 기대효과

식생의 스트레스를 조기탐지하는데 널리 활용될 수 있다. 기후변화 및 인간활동에 따른 다양한 식생 스트레스 요인들이 증가하고 있다. 조정, 임업, 농업 등 다방면에서 생산성 증대 및 유지관리 효율화에 기여할 것이다.

또한 광합성량과 SIF와의 관계를 이해하는 데 큰 도움이 될 수 있다. 광합성량과 SIF의 관계는 아직 정확히 밝혀지지 않았다. 이러한 이유는 아직 SIF 관측 센서의 진입장벽이 높으므로 실측된 SIF자료가 전세계적으로 부족하기 때문이다. 연구팀이 개발한 센서는 더 손쉽게 사용할 수 있고 저렴하기에 더 많은 실측 기반의 SIF 자료를 확보하는 데 적극적으로 활용될 수 있다.

용 어 설 명

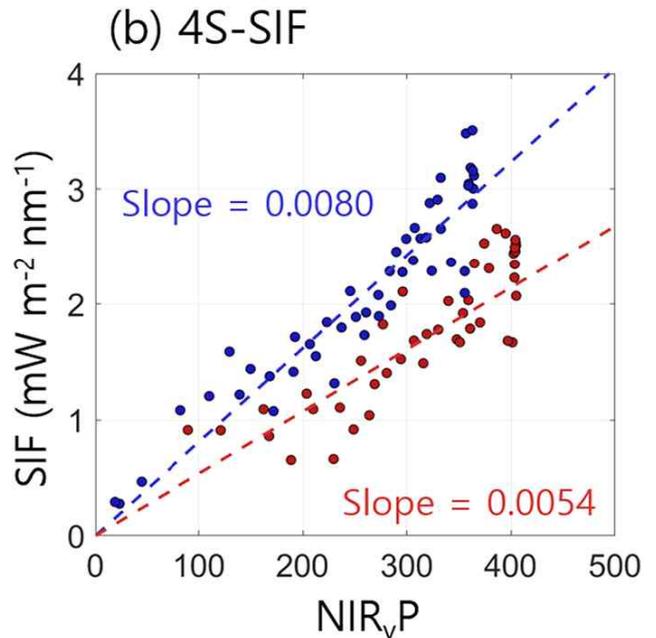
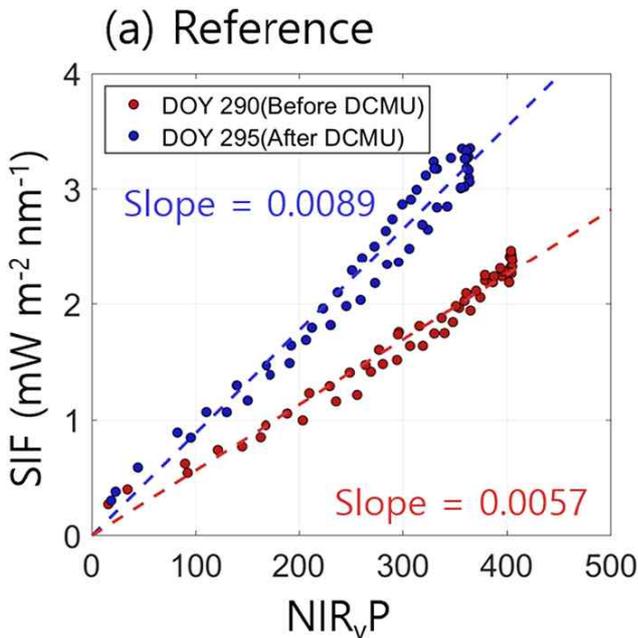
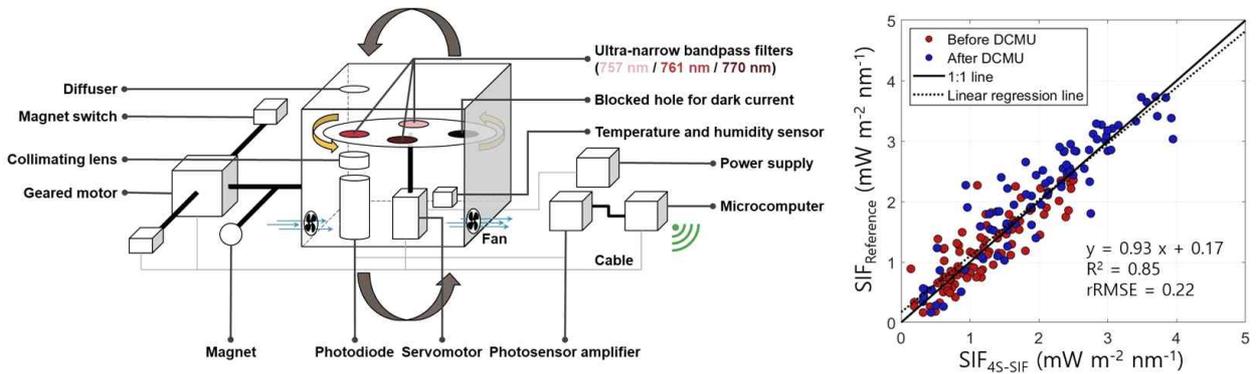
1. 태양 유도 엽록소 형광물질(SIF, Sun-induced Chlorophyll Fluorescence)

- 엽록소에 흡수된 빛에너지는 화학적인 반응에 사용되거나 열 또는 형광으로 방출된다. SIF는 태양광에 의해 유도된 빛이 엽록소에 흡수된 후 형광으로 방사되는 복사에너지를 가리킨다.

그림 설명

그림 1. 연구팀에서 개발한 SIF 탐지를 위한 스마트 근접 표면 센싱 시스템 (4S-SIF)의 모식도 및 관측된 SIF 결과. 상업적으로 판매되는 분광계로 탐지된 SIF와 연구팀이 개발한 센서에서 탐지된 SIF의 상관관계가 높음. 또한, 억제 제초제(DCMU)를 처리하였을 때, 관측된 SIF값이 증가한 것을 확인할 수 있음.

Smart Surface Sensing System for SIF (4S-SIF)



연구팀은 SIF를 탐지하기 위한 스마트 근접 표면 센싱 시스템(4S-SIF)을 개발하였고, 주된 결론은 다음과 같다.

- 4S-SIF는 상업적으로 판매되는 분광계 기반의 시스템보다 저렴하고 사용하기 쉽게 개발되었다.
- 4S-SIF에서 탐지한 SIF는 상업적으로 판매되는 분광계 기반의 SIF와 높은 상관관계를 보였다.
- 4S-SIF는 제초제 처리 후 증가하는 SIF를 탐지하였는데 이는 육안판별보다 4일 이상 선행했다

연구자 이력사항 (류영렬)

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 조경.지역시스템공학부 교수
- 전 화 : 02-880-4871
- E-mail : yryu@snu.ac.kr



2. 학력

- 1997 - 2003 서울대학교 학사
- 2003 - 2005 서울대학교 석사
- 2006 - 2010 UC Berkeley 박사

3. 경력사항

- 2010 - 2010 Microsoft Research 인턴연구원
- 2010 - 2011 Harvard University 박사후연구원
- 2011 - 서울대학교 조교수, 부교수, 정교수
- 2013 - 2020 BK21플러스 그린인프라창조인재양성사업팀 팀장

4. 기타 정보

- NASA Earth System Science Fellowship (2008-2010)
- BK21플러스 우수사업팀 선정 (2016)