

2021. 12. 01.(수)

연구책임자 류영렬 교수 (02-880-4871) / 교신저자  
연구진 Ben Dechant연구원 (02-880-4741) / 제1저자

**농업생명과학대학 류영렬 교수팀  
원격탐사를 이용한 전지구 육상 광합성 모니터링 기술 개발**

- 류영렬 교수(서울대학교) 연구팀은 캘리포니아공과대학, 막스플랑크연구소, 카네기연구소, 난징대학교, 일리노이주립대학, 밀라노대학교, 에콜폴리테크니크대학, 독일 생물지구과학연구소 등 국제 공동연구진을 이끌며, 원격탐사를 이용하여 육상의 광합성을 간단하면서도 정확도 높게 탐지하는 기술을 개발하였다
- 전세계 육상생태계의 광합성량은 인류가 연간 방출하는 온실가스 탄소의 10배가 넘는다. 광합성은 전지구 탄소순환에서 가장 중요한 요소임에도 불구하고, 환경인자들과 복잡한 비선형관계로 인하여 광역규모에서 탐지가 어려웠다
- 연구진은 NIRvP라는 새로운 식생지수를 도입하여 광합성을 정량화하였다. 식생은 가시광선은 강하게 흡수하는 반면 근적외선(NIR)은 대부분을 반사시킨다. 한편 광학 원격탐사를 통한 육상생태계 탐지는 식생 이외의 지표물들(토양 등)에 의한 영향을 받는다. 따라서 식생만의 신호를 탐지하는 것이 중요하기 때문에 정규식생지수(v)를 NIR반사도에 곱하였다(NIRv). 마지막으로, 광합성은 태양복사량에 따라서 조절되기 때문에 NIRv에 태양복사(P)를 곱한 NIRvP수식을 최종적으로 도출하였다.

- NIRvP는 적색 파장과 근적외선 파장, 두 개의 채널만 있으면 계산이 가능하므로 아주 간단하다. 다수의 우주위성들이 두 개의 채널이 포함된 분광카메라를 탑재하고 있어 전지구적으로 수십년에 걸친 기존 위성 자료들에 적용할 수 있다.
- 현장의 플럭스 타워 자료, 항공기 분광카메라 자료, 우주위성 자료 등과 비교 평가한 결과 NIRvP는 광합성의 시공간 패턴을 매우 높은 정확도로 탐지하였다.
- 서울대학교 조경.지역시스템공학부 류영렬 교수는 “이 논문의 핵심은 아주 쉽고 단순한 방법인 NIRvP로 복잡한 기작들이 얽힌 광합성을 정확하게 모니터링할 수 있다는 점이다. 차세대중형위성4호(농림위성) 등 국내 외에서 발사예정인 우주위성들에 바로 적용이 가능할 것이다” 라고 전망하였다.
- 한국연구재단의 중견연구사업의 지원으로 수행된 이번 연구성과는 저명 국제학술지 “환경원격탐사 (Remote Sensing of Environment)” (IF 10.16) 2022년 1월호에 게재되었다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

## 연구 결과

### NIRvP: A robust structural proxy for sun-induced chlorophyll fluorescence and photosynthesis across scales

Dechant, B., Ryu, Y.\*, Badgley, G., Köhler, P., Rascher, U., Migliavacca, M., Zhang, Y., Tagliabue, G., Guan, K., Rossini, M., Goulas, Y., Zeng, Y., Frankenberg, C., & Berry, J.A.  
(Remote Sensing of Environment, 268, 112763)  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112763>

#### 1. 연구배경

전지구 육상생태계의 광합성량은 얼마이며 어떻게 변하는가? 기후변화 연구와 생태학에서 가장 중요하면서도 해결하지 못한 질문이다. 잎 수준에서 광합성에 대한 연구는 역사가 깊고 자료도 풍부하나, 군락단위에서 전지구 규모에서의 광합성 연구는 최근에 본격적으로 진행되고 있으며 아직 불확도가 매우 높은 상황이다.

최근들어 태양유도 엽록소 형광(SIF, Sun-induced chlorophyll fluorescence)이 광합성의 지표로 각광받고 있다. SIF는 식생에 의해 흡수된 태양광 중 1-2%정도가 형광으로 방사되는 빛으로, 광합성과 상관관계가 높다. 아주 작은 미량의 빛임에도 불구하고 우주위성에서 지구를 관찰할 때 SIF탐지가 가능하다는 연구가 2010년대 초에 보고된 이후로 이 분야의 관련 논문들이 폭발적으로 증가해왔다. 특히 미국항공우주국, 유럽항공우주국, 일본항공우주국, 중국항공우주국 등에서 SIF를 탐지하기 위한 우주위성들을 최근 들어 발사하고 있으며 발사에정인 위성들도 여럿이 있다.

그러나 SIF는 아주 미량의 빛이기 때문에 높은 정확도로 탐지하기가 어렵

다. 매우 고가의 분광계가 필요하며 복잡한 전처리/후처리 과정이 수반되어야 한다. 또한 류영렬 교수 연구진에서 최근에 발표한 연구들에 따르면, SIF는 광합성을 나타내는 식물생리적인 정보보다 식생 군락의 구조에 의해 압도적인 영향을 받는다.

이 논문에서는 SIF에 담긴 군락구조의 정보를 탐지하면서 광합성도 함께 잘 탐지할수 있는 새로운 지표인 NIRvP를 개발하고 이를 다중 규모에서 깊게 평가하였다.

#### 2. 연구내용

연구진은 NIRvP와 SIF, 광합성과의 상관관계를 다중 시공간 규모에서 평가하였다.

먼저, 여러 생태계 현장에 설치되어 있는 플릭스 타워 자료를 활용하였다. 공동연구진들이 구축한 옥수수, 콩, 밀 등 가용한 모든 자료들을 취합하였다. NIRvP는 SIF의 계절변화를 거의 다 설명하였으며, 특히 광합성의 계절 변화는 SIF보다 더 잘 탐지하였다.

경관규모에서도 NIRvP의 성능을 평가하였다. 독일 연구진이 항공기에 초고분해능분광계를 설치하여 취득한 영상정보를 이용하여 NIRvP와 SIF를 동시에 추출하였다. 이질적인 토지피복들이 조합된 경관에서 NIRvP와 SIF는 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 특히 phenotyping실험이 진행중인 실험대상지에서도 NIRvP는 SIF의 공간변이를 대부분 설명하였다.

대륙규모와 전지구 규모에서는 TROPOMI위성에서 제공되는 SIF와 NIRvP, 그리고 광합성의 벤치마크 자료로 널리 활용되는 FLUXCOM자료를 활용하였다. NIRvP는 SIF의 전지구 시공간 패턴을 모든 생태계에서 잘 설명하였다. 특히, 광합성의 시공간 패턴을 설명하는데 NIRvP가 SIF보다 더 높은 상관관계를 나타냈다.

수십미터의 현장 자료에서 전지구 규모까지, 초단위 자료에서 연단위 자료

까지, 다중 시공간 규모에서 평가한 결과에 따르면 NIRvP는 SIF의 시공간 패턴을 대부분 설명하였으며 광합성을 예측하는데 SIF보다 더 높은 정확도를 보였다.

### 3. 기대효과

드론의 분광계와 NIRvP를 결합하면 **정밀농업, 스마트팜, 산림건강성 모니터링에 바로 적용이 가능할** 것이다.

광합성은 전지구 탄소 순환에서 가장 큰 유동량을 차지하기 때문에 기후변화 대응 및 탄소중립2050 정책 수립에 반드시 고려되어야 한다. NIRvP를 우주위성 자료들과 결합하면 광역규모에서 광합성 모니터링을 높은 정확도로 수행할 수 있을 것이다.

## 용 어 설 명

### 1. 태양유도엽록소형광(SIF, Sun-induced Chlorophyll Fluorescence)

- 빛이 엽록소에 흡수되면 photochemistry, fluorescence, non-photochemical quenching 세 경로중 하나로 진행이 된다. SIF는 태양광에 의해 유도된 빛이 엽록소에 흡수된 후 fluorescence (형광)으로 방사되는 복사를 가리킨다. 세 경로 중 광학 원격탐사로 탐지가 가능한 것은 형광뿐이다. SIF는 photochemistry와 관계가 높아 광합성 탐지의 새로운 도구로 각광받고 있다.

### 2. NIRvP

- NIR반사도 X 정규식생지수(NDVI) X 태양복사량
- NIR(근적외선)반사도는 식생의 가시광선 흡수도와 높은 상관관계를 나타내며 NDVI는 픽셀 내의 식생의 비율에 비례한다. 따라서 NIR 반사도와 NDVI의 곱은 식생의 가시광선 흡수비율과 밀접한 관계가 있다. 같은 흡수도라도 태양광의 강도에 따라 흡수하는 복사량에 변화가 생긴다. 따라서 태양복사량을 함께 곱해줌으로써 식생이 흡수하는 가시광선량을 추정할 수 있다.
- 정규식생지수(NDVI)는 다음 수식과 같다. (근적외선반사도-적색반사도)/(근적외선반사도+적색반사도)

### 3. GPP

- Gross Primary Productivity의 약자로, 총 1차생산성을 나타낸다. 즉, 식생군락에 의한 총 광합성량이다.

# 그림 설명

그림 1. NIRvP와 SIF, 광합성(GPP)을 다중 규모에서 평가한 결과. NIRvP는 SIF의 시공간 변이를 대부분 설명함. 또한 NIRvP는 광합성의 시공간 변이를 SIF보다 더 잘 예측함.

NIRvP가 SIF와 광합성(GPP)의 시공간 변이를 어느정도 설명하는지 평가하기 위해 다중 시공간 규모에서 가용한 자료들을 수집하였다. 공간적으로는 현장사이트 규모(수십미터), 경관규모(수백미터), 전지구규모를 포함하였으며, 시간적으로는 초단위부터 연간단위까지 포함하였다.

모든 규모에서 일관성있게 나타난 사실은 다음과 같다.

- NIRvP는 SIF의 시공간 변이를 대부분 설명한다.
- NIRvP는 광합성의 시공간 변이를 SIF보다 더 잘 설명한다.

