

## 생태계의 상태 파악을 위한 정보 흐름 통계의 미기상학적 자료에의 적용

김세희<sup>1\*</sup>, 윤주열<sup>2</sup>, 강민석<sup>3</sup>, 천정화<sup>4</sup>, 김준<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 협동과정 농림기상학전공 복잡계과학연구실, <sup>2</sup> 서울대학교  
조경지역시스템공학부 복잡계과학연구실, <sup>3</sup> 국가농림기상센터, <sup>4</sup> 국립산림과학원

### **Application of Information Flow Statistics to Micrometeorological Data to Identify the Ecosystem State**

Sehee Kim<sup>1\*</sup>, Juyeol Yun<sup>2</sup>, Minseok Kang<sup>3</sup>, Junghwa Chun<sup>4</sup>, and Joon Kim<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>*Interdisciplinary Program in Agricultural & Forest Meteorology, Seoul National University,*

<sup>2</sup>*Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University*

<sup>3</sup>*National Center for AgroMeteorology*

<sup>4</sup>*Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Korea*

(Correspondence: [bluedews2@gmail.com](mailto:bluedews2@gmail.com))

## 초 록

산림생태계의 에너지, 물질, 정보의 교환 과정과 그 변화를 이해하려면 먼저 생태계의 구조와 기능이 어떻게 상호작용하는지를 이해해야 한다. 생태계의 기능은 한, 두 가지의 특징에 의해서만 이루어지는 것이 아니다. 그렇기 때문에 그 기능을 파악하고 적절히 이용하거나 대응하기 위해서는 한 생태계와 주변 환경 전체를 바라볼 수 있는 시스템 사고가 필요하다. 이에 우리는 생태계의 ‘구조’를 파악함으로써 생태계의 ‘상태’를 이해하고자 한다. 본 연구에서는 Ruddell and Kumar (2009)의 접근법을 따라, 어떻게 한 생태계의 상태를 파악할 수 있는가라는 질문을 광릉 활엽수림에 적용하여 답하고자 한다. 즉, 우리는 산림생태계가 열린 복잡계라고 가정하고, 생태계 내에서 다양한 프로세스들 간의 시시각각 변하는 네트워크의 구조가 각 시점의 시스템의 상태를 나타내는 지표가 될 수 있다고 가정하였다. 이 연구에서는 그 구조적 특징을 정량화하여 나타내는데 초점을 맞추었다. 각각의 프로세스를 대표하는 상태 변수들 간의 정보 흐름의 양과 방향, 시간 규모를 계산해냄으로써 네트워크 구조를 파악하고자 하였다. 온대 산악지형 활엽수림인 GDK의 2008년 순생태계교환량(NEE), 총일차생산량(GPP), 생태계호흡량(RE), 현열플럭스(H), 잠열플럭스(LE), 하향단파복사(Rg), 강수량(Precipitation), 기압(Pressure), 기온(T), 포차(VPD)의 시계열 자료를 월별로 나누어 최장 18시간 규모의 정보 흐름을

계산하였다. 정보 흐름의 구조를 파악하기 위하여 변수들 간의 전이엔트로피(Transfer entropy)와 상호정보(Mutual Information)를 계산하는 방법을 사용하였다. 또한 시계열 자료를 이용함으로써 변수들 간에 정보가 전달되는 시간 규모의 특성을 파악할 수 있었다. 최종적으로, 계산한 정보 흐름을 시각화하여 프로세스 네트워크 구조를 나타내었다. 결과는 월별로 생태계의 정보 흐름의 종류, 방향과 시간 규모, 그에 따른 프로세스 간 상호 작용의 특징 등을 보여준다. 이를 통해 계절적 환경 변화에 따라 시스템의 네트워크 구조와 상태가 어떻게 변화하는지 이해할 수 있을 것이다. 이 연구는 추후 우리 연구실에서 생산한 8년 자료에 적용함으로써 다양한 날씨 및 기후변화와 환경 변화에 따라 생태계의 구조와 상태가 어떻게 변화하는지 연구하는 시작점이 될 것이다.

이 접근법은 단위나 차원에 무관하게 다양한 종류의 자료에 적용할 수 있는 반면에, 일관성 있게 정의된 시스템의 상태 및 그 상태를 구성하는 주요 하부 시스템들의 네트워크 상태를 이해하는데 이용될 수 있다. 본 연구는 비평형 열역학과 복잡계의 관점에서 바라 본 시스템 사고를 적용하려 하는 여러 연구 분야에 새로운 도전을 촉발할 좋은 선행연구가 될 것이라 기대된다.

## 사사

본 연구는 산림청(과제번호: S111212L120110)의 지원을 받았습니다.

## 인용문헌

Ruddell, B., and P. Kumar (2009): Ecohydrologic process network: 1. Identification, *Water Resources Research* **45**, W03419, doi:10.1029/2008WR007279