

KoFlux 2010 : 국내 지표 플럭스 관측-모델 융합

권효정^{1,2*} · 이병렬¹

¹국가농림기상센터, ²연세대학교 대기과학과/지구환경연구소
(2010년 10월 5일 접수; 2010년 12월 13일 수정; 2010년 12월 23일 수락)

KoFlux 2010: Domestic Surface Flux Measurement-Model Fusion

Hyojung Kwon^{1,2*} and Byong-Lyol Lee¹

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Department of Atmospheric Sciences & Global Environment Laboratory, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received October 5, 2010, Revised December 13, 2010; Accepted December 23, 2010)

현정부의 저탄소 녹색성장 정책아래 국가 표준 탄소 수지 시나리오 작성과 온실가스 감축 정책을 위해서는 탄소 순환의 감시와 정량화가 무엇보다 필요하며 동시에 물부족 이슈가 풀어야 할 당면과제로 대두되면서 수자원 확보와 효율적 관리를 위해 물순환을 정량화하는 것이 필요하다. 이를 위해 육상생태계에서 토양-생물-대기간 상호작용으로 이루어지는 탄소와 물 순환 감시, 관측-모형 시너지를 활용한 탄소/물 수지 산출이 필요한때이다. 국내 플럭스 관측 커뮤니티의 활성화와 네트워킹, 관측-모델링 융합의 추진을 위해 2009년 6월에 제 1차 국내 지표 플럭스 관측-모델링 워크숍이 개최되었으며, 이어 2010년 제 2차 워크숍에서는 국내 지면 플럭스 관련 연구자들의 연계를 강화하고 최신 정보를 공유하는 장을 마련함으로써 연구 네트워크 구축 및 협력 지속을 추구하였다. KoFlux 2010년 특별호는 국가농림기상센터와 국립수리과학원 주최로 개최된 제 2차 워크숍때 발표된 내용중 관측, 관측-모델 융합, 생태과학지식의 사회로의 서비스와 관련된 최근 국내 연구동향을 소개하고자 한다.

제 2차 워크숍은 1) KoFlux 현황 보고, 2) 탄소/물/에너지 지표 플럭스 관측 사례, 3) 탄소/물/에너지 지표 플럭스 모델링 사례, 4) 당면과제 토론으로 구성되었다. 이번 특별호에는 총 7편이 게재되었으며 각

논문의 내용은 아래와 같다.

Kwon and Kim(2010)은 KoFlux가 아시아의 주요 육상생태계의 탄소/물/에너지 교환에 관한 생태계과학 정보와 지식을 창출하고, 과학적 연구와 적용에 있어서 다학문간 협력과 융합을 촉진하고, 지속적인 생태계 서비스를 지역사회에 제공함으로써 AsiaFlux의 비전인 “사고하는 공동체, 배움의 프런티어”를 공유함을 제시하였고, 2001년 출범 이래 2011년에 출범 10주년을 맞이하는 KoFlux의 배경, 현황 및 향방을 소개하였다. 현재 KoFlux 네트워크는 총 일곱 개의 관측지로 구성되어 있고 등재된 관측지는 모두 표준화된 프로토콜을 사용하여 자료를 체계적으로 처리하고 있으며 품질 검증된 플럭스 자료의 데이터베이스를 지속적으로 구축해 가고 있다. KoFlux는 정기적인 학술 논문 출판, 포럼 및 훈련과정 개최로 플럭스 관측 및 모델링 전문가간의 연결 및 정보교환을 위한 아고라를 제공하며, 관측 및 자료분석을 위한 전문인력 양성에 힘쓰고 있다. KoFlux는 2011년부터 서울대학교에 설립된 국가농림기상센터를 중심으로 NCAM의 주요 서비스를 담당하며 현재의 감시 네트워크를 더욱 보강시킬 것으로 기대된다.

토양호흡이 탄소 순환 및 수지에 중요한 역할을 함에도 불구하고 국내 토양호흡 관측의 중요성에 대한 인



* Corresponding Author : Hyojung Kwon
(hyojungkwon@yonsei.ac.kr)

식과 실측 자료는 상당히 미약하다. Lee *et al.*(2010a)은 국내 토양호흡자료의 종합분석을 통해 국내에 적용된 토양호흡 측정 방법(예, 밀폐상역학법, 알칼리흡수법, 통기법, 밀폐상법)을 소개하였고 토양호흡 관측이 대부분 산림 생태계에 국한되었으며 관측된 평균 토양호흡은 $130\text{--}900\text{mg CO}_2\text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 범위를 보고하였다. 측정된 토양호흡의 상호 비교와 정량화를 위해 측정방법간의 오차 검증 연구가 선행되어야 함을 강조하였다. 또한 탄소순환 메커니즘의 이해를 위해 장기적으로 다양한 생태계에서의 토양호흡 관측, 토양호흡을 조절하는 환경인자에 대한 이해, 토양호흡을 구성하는 각 발생원에 대한 정량화의 필요를 강조하였다.

안정동위원소 연구는 생태계에서 순환되는 탄소와 물 등의 발생원과 변화과정을 추적하는데 이용된다. Lee *et al.*(2010b)은 광릉 활엽수림 내에 설치되어있는 다중 이산화탄소/수증기 연직농도프로파일시스템을 사용하여 안정동위원소 분석을 위한 공기시료 채취 방법과 이산화탄소와 수증기의 안정동위원소 조성의 수직분포 결과를 제시하였다. 아울러 Keeling plot 을 적용하여 이산화탄소와 수증기의 안정동위원소 조성을 산출하였다. Lee *et al.*(2010b)이 이용한 방법은 기존에 운용되고 있는 프로파일시스템을 활용함으로써 상대적으로 작은 비용으로 시료채취가 가능하다는 점과 이산화탄소와 수증기의 동시 시료채취와 동위원소 분석이 가능하여 순생태교환량 및 증발산 구성요소의 구분이 동일한 시간적 해상도로 이루어질 수 있는 장점이 있다. 이러한 결과는 생태계 탄소와 물 순환 과정의 상호 관련성에 대한 보다 향상된 이해를 위한 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

플럭스 관측과 모형 연계의 한 예로, Joh *et al.*(2010)은 설마천 유역 혼효림에서 관측된 증발산, 토양수분, 유출량 자료를 사용하여 SWAT 모형의 증발산과 토양수분 추정 평가를 실시하였다. 국내에서는 수문 관측 자료가 없어 SWAT모형을 검증할 때 대부분 유출량만을 사용한다. 그러나 설마천 유역의 경우 수문자료로 증발산, 토양수분, 유출량이 관측되어 모든 수문자료를 사용하여 SWAT 모형을 검증하였다. 유출량만을 사용하여 SWAT 모형을 보정할때 보다 세 자료 모두를 사용하여 SWAT 모형을 보정했을때, 모의된 증발산과 토양수분이 관측과 더 잘 일치함을 보였다. 이 연구결과는 설마천 유역 수문과정의 실제상황을 근접하게 모의하기위해서는 다른 수문성분의 정량

하고 신뢰성있는 자료의 구축과 적용이 매우 중요하다는 것을 보여준다.

Lim *et al.*(2010)은 KLDAS의 증발산 추정 능력 평가를 위하여 KLDAS 증발산과 광릉 활엽수림에서 에디 공분산 방법으로 관측된 증발산을 비교하였다. KLDAS 증발산은 관측에 비해 과대모의하는 경향을 보였으나 전반적으로 관측된 증발산의 시계열 패턴을 잘 모의하였다. 특히 여름과 봄의 KLDAS 증발산 과대모의는 여름에 강수시 입사하는 복사량의 과대평가와 봄에 식생변수 모사의 불확실성으로 추정된다. 0.25° 와 1° 해상도의 전지구지표자료동화체계와 비교하여, KLDAS 증발산이 관측된 증발산과 더 잘 일치하였다. 이러한 결과를 토대로 한반도에서의 증발산 연구에 KLDAS활용이 클 것으로 기대된다.

관측과 모형결과로부터 생산되는 생태과학지식과 정보는 사회에 제공됨으로서 사회의 지속가능한 발전을 이루는데 기여할 수 있다. Kang and Tenhunen(2010)은 TERRECO 연구사업을 통해 산지복잡지형 생태계 이해를 증진시키고 산지형복잡생태계가 지역사회의 곡물생산, 산림자원, 수질, 지역 경제에 미치는 영향을 평가함으로써 생태계 서비스(ecosystem service)기능을 정량화하는 프로젝트를 소개하였다. TERRECO 연구사업은 한독 국제연구 및 교육사업의 일환으로 현장조사와 실험실 연구, 모델링 및 원격탐사로부터 다양한 자료를 취합하며 이를 위해 대략 $100\text{--}1000\text{km}^2$ 정도의 산악복잡지형 연구지(강원도 양구군에 소재한 해안면과 소양강 유역)를 설정하여 연구를 진행중이다. TERRECO 연구결과가 생태계 서비스의 정량적 평가 체계 수립고 조직화함으로써 새로운 수준의 학제 간 정보교환프로그램을 개발하는 데에 기여할 것을 기대한다.

이번 특별호에 게재된 논문이 KoFlux의 지난 10년을 정리하고 국내에서 진행중인 토양-생물-대기간 상호작용 이해에 초석이 되고 관측-모형 시너지 효과를 증진시키고 과학지식의 서비스에 관한 연구를 소개하고 활성화하는데 기여하기를 바란다.

감사의 글

2010년 제 2차 국내지표플럭스 관측-모델링 워크숍 개최를 주최하고 후원한 국가농림기상센터, 국가수리과학연구소, 연세대학교 지구환경연구소, 한국농림기상

학회, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, A3-CarboEastAsia한국연구재단, 유량조사사업단, 국립산림과학원, (주)비엔피에 감사드립니다. 또한 논문을 투고 해주신 저자분들께 감사드립니다.

REFERENCE

- Joh, H. K., J. W. Lee, H. J. Shin, G. A. Park, and S. J. Kim, 2010: Evaluation of evapotranspiration and soil moisture of SWAT simulation for mixed forest in the Seolmacheon catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)
- Kang, S., and J. Tenhunen, 2010: Complex terrain and ecological heterogeneity (TERRECO): Evaluating ecosystem services in production versus water quantity/quality in mountainous landscapes. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)
- Kwon, H., and J. Kim, 2010: KoFlux's progress: Background, status and direction. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)
- Lee, D., S. J. Kim, J. Kim, and J.-H. Lim, 2010b: Air sampling and isotope analyses of CO₂ and water vapor using multi-level profile system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)
- Lee, E.-H., J.-H. Lim, and J.-S. Lee, 2010a: A review on soil respiration measurement and its application in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)
- Lim, Y.-J., K.-Y. Byun, T.-Y. Lee, and J. Kim, 2010: Evaluation of evapotranspiration estimation using Korea land data assimilation system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, this issue. (in Korean with English abstract)