KoFlux 역정: 배경, 현황 및 향방

권효정^{1,2*} · 김준^{2,3}

¹국가농림기상센터, ²연세대학교 대기과학과/지구환경연구소

³서울대학교 생태조경·지역시스템공학부

(2010년 10월 5일 접수; 2010년 12월 15일 수정; 2010년 12월 23일 수락)

KoFlux's Progress: Background, Status and Direction

Hyojung Kwon^{1,2*} and Joon Kim^{2,3}

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

³Department of Landscape Architect & Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received October 5, 2010; Revised December 15, 2010; Accepted December 23, 2010)

ABSTRACT

KoFlux is a Korean network of micrometeorological tower sites that use eddy covariance methods to monitor the cycles of energy, water, and carbon dioxide between the atmosphere and the key terrestrial ecosystems in Korea. KoFlux embraces the mission of AsiaFlux, i.e. to bring Asia's key ecosystems under observation to ensure quality and sustainability of life on earth. The main purposes of KoFlux are to provide (1) an infrastructure to monitor, compile, archive and distribute data for the science community and (2) a forum and short courses for the application and distribution of knowledge and data between scientists including practitioners. The KoFlux community pursues the vision of AsiaFlux, i.e., "thinking community, learning frontiers" by creating information and knowledge of ecosystem science on carbon, water and energy exchanges in key terrestrial ecosystems in Asia, by promoting multidisciplinary cooperations and integration of scientific researches and practices, and by providing the local communities with sustainable ecosystem services. Currently, KoFlux has seven sites in key terrestrial ecosystems (i.e., five sites in Korea and two sites in the Arctic and Antarctic). KoFlux has systemized a standardized data processing based on scrutiny of the data observed from these ecosystems and synthesized the processed data for constructing database for further uses with open access. Through publications, workshops, and training courses on a regular basis, KoFlux has provided an agora for building networks, exchanging information among flux measurement and modelling experts, and educating scientists in flux measurement and data analysis. Despite such persistent initiatives, the collaborative networking is still limited within the KoFlux community. In order to break the walls between different disciplines and boost up partnership and ownership of the network, KoFlux will be housed in the National Center for Agro-Meteorology (NCAM) at Seoul National University in 2011 and provide several core services of NCAM. Such concerted efforts will facilitate the augmentation of the current monitoring network, the education of the next-generation scientists, and the provision of sustainable ecosystem services to our society.

Key words : KoFlux, Energy and mass exchange, Eddy covariance, Monitoring, Network

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

I. 배 경

1997년 온실기체 감축을 주요 내용으로 한 교토의 정서가 채택된 후, 온실기체 감축 목표 설정, 배출권 거래제도, 청정개발체제, 공동이행제도 감축 수단도입 등 다양한 국제사회의 노력이 이루어져왔다. 2012년에 만료되는 교토의정서를 대체할 새로운 기후협약을 위해 각국의 구체적 온실가스 배출 감축 목표 도출에 초점을 맞춘 유엔 기후변화정상회의가 2009년 코펜하겐에서 개최되었다. 그러나 예상대로 190여 참여국가들은 지속가능성과 경제성장의 두 마리 토끼를 한꺼번에 잡기 위해 참여한 의견 대립으로 어려움을 겪었고, 결국 모든 국가가 참여해 온실가스 배출을 감축하고 기후변화 문제를 해결하는 이른바 ‘글로벌웬디텀’ 제시에 국제적 강제력이 없는 합의를 도출하는데 그치고 말았다. 그럼에도 불구하고 교토의정서때와는 달리 온실기체 최고 방출국인 중국, 미국, 인도, 브라질, 남아프리카 등이 처음으로 온실기체 감축을 위한 합의에 동참했다는 것에 코펜하겐 기후변화정상회의의 의미를 부여할 수 있다. 이는 돌이킬 수 없는 빠른 속도의 기후변화와 지속불가능한 경제 성장의 한계에 대한 로마 클럽(Club of Rome) 및 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 등의 과학계의 꾸준한 경고가 국제사회를 움직이기 시작한 것으로 해석된다(Meadows *et al.*, 2004; IPCC, 2007).

IPCC는 4차에 걸친 평가보고서에서 지속적인 관측 네트워크의 중요성과 지역규모 모형의 기후변동 예측에 관련된 불확실성의 최소화를 거듭 강조해 왔다. 한반도에서 지속적으로 온실가스 교환 현황을 파악하고 감시하는 관측 네트워크의 양적/질적 확장과 지속적인 운용 그리고 기후변화 예측 모형의 검증 및 개선을 위한 독자적인 자료 기반의 조성이 무엇보다 필요한 시기이다. 중국, 인도, 일본, 러시아와 함께 아시아 국가중 세계 10대 탄소방출국인 한국은 코펜하겐 기후변화 정상회의 결과와 관계없이 현정부의 “저탄소 녹색성장” 정책아래 2020년까지 온실가스를 BAU(business as usual; 기존 수준 온실가스 감축 정책을 쓸 경우 배출 전망값) 대비 30% 감축한다는 계획을 발표하였다. 이는 2020년까지 2005년 대비 배출량을 4% 줄이는 것이다. 국가간 기후변화 협약에 대응하고 온실가스 감축 정책의 실현을 위해서는 온실가스 배출과

흡수에 중요한 영향을 미치는 육상생태계에서 지속적인 온실가스 관측이 체계적으로 이루어져야 한다. 이를 위해 탄소와 물을 포함한 물질과 에너지 플럭스의 상시 감시를 위한 통합된 관측 네트워크와 이에 따른 관리 체계가 필요하다.

에디공분산 기술을 이용한 국내 연구팀의 에너지, 수증기 및 CO₂ 플럭스 관측은 1996년 여름 일본 오카야마의 논에서 약 한 달간 실시된 한국·일본·호주의 국제 공동 야외 실험이었던 ‘International Rice Experiment(IREX)’를 필두로 시작되었다. 논에서 집중적인 난류 및 플럭스 관측을 통해 대기와 군락 상하부 및 토양 경계면에서의 에너지와 CO₂, CH₄, H₂O 등의 물질 교환의 메커니즘을 밝히고, 이를 모수화하여 오일러/라그랑지 모델링에 적용한 학제간 공동 연구였다. 이 단기집중 실험에서 관측된 자료와 연구 경험 및 분석 결과는 후에 국내의 복잡경관에서의 플럭스 관측 기술을 정립하는데 초석이 되었다(e.g., Harazono *et al.*, 1998; Miyata *et al.*, 1999; Katul *et al.*, 2000; Hong *et al.*, 2002). IREX의 경험을 바탕으로 본격적인 한·중·일 공동 플럭스 관측이 지구 에너지·물 순환 실험(Global Energy and Water cycle Experiment, GEWEX)의 아시아 몬순실험(GEWEX Asian Monsoon Experiment, GAME)을 통해 1998년부터 티벳고원에서 본격적으로 시작되었다. GAME은 시베리아, 티벳, 중국남부 및 동남아 열대지방의 네 지역에 집중하여 아시아 지역의 에너지와 물 순환을 규명하고 그 변화를 예측하기 위한 다양한 장기 관측 네트워크를 구축하고 실측자료를 활용하여 모델링 기술의 개선을 추구했던 국제공동연구이다. 국내에서는 연세대학교 지구환경연구소를 중심으로 중국 티벳 고원과 태국의 열대림에서 지속적인 플럭스 관측을 수행함으로써 GAME의 5개년 장기 국제 관측 네트워크에 참여하게 되었다. 이와 때를 같이하여, 1999년 말에는 일본의 주도로, 아시아의 주요생태계를 감시관측할 대륙규모의 타워 플럭스 관측망을 구축하기 위한 첫번째 워크숍이 삿포로의 북해도대학에서 열렸다. 이 첫 모임에서 한중일의 협력하에 ‘AsaiFlux’ 네트워크가 발족되었고, 초대의장에 교토대학의 후쿠시마 교수가 선출되었다. AsiaFlux는 2010년 현재 30여개국의 550여명의 등록회원을 보유하고 있으며, ChinaFlux, IndoFlux, JapanFlux, KoFlux, TaiwanFlux, ThaiFlux를 중심으로 100여개의 플럭스 타워 네트워크를 지원하고

있다(Kim and Hirano, 2010).

국내에서의 플럭스 관측은 2000년 기상연구소와 연세대학교 지구환경연구소가 기상청의 집중관측사업(Korea Enhanced Observation Project, KEOP)의 전신인 'Korea Monsoon Experiment(KORMEX) 지표 플럭스 자료의 품질관리 및 지면 모수화' 사업을 통해 학·연 협력연구를 시작하면서 광릉수목원 내의 침엽수림에 구축한 플럭스 관측 타워를 발판으로 비롯되었다. KoFlux는 2001년 연세대학교 지구환경연구소가 기상연구소, 산림과학원, 농업과학기술원 및 해양연구소와의 협력을 통해, 환경부의 Ecotechnopia 21 프로그램의 차세대 핵심환경기술 개발사업의 지원을 받아 정식으로 구축되었고, 2002년 1월 9-11일에 제주도에서 제2차 AsiaFlux 국제워크숍을 주최하면서 "KoFlux Kick-Off"를 선언하며 한국의 에디 공분산 플럭스 타워 지역 네트워크인 KoFlux(<http://koflux.yonsei.ac.kr>)를 공식적으로 출범시켰고, 아시아 및 전지구 플럭스 관측망인 AsiaFlux(<http://asiaflux.yonsei.ac.kr>)와 FLUXNET(<http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/>)에 정식으로 등재되었다(Fig. 1).

KoFlux는 2001년 출범 당시, 제 1단계 국내 관측 네트워크의 기반 구축(2001-2004), 제 2단계 핵심 기술 개발(2004-2007), 제 3단계 지역/대륙 네트워크 기여(2007-2011)의 10년 비전에 기반을 둔 3단계 전략을 제시하고 현재까지 국내외 주요 육상 생태계의 탄소/물/에너지 순환 규명을 위한 현장 플럭스 관측을 지속적으로 수행해 왔으며, 2011년에 출범 10주년을

맞는다(Kim *et al.*, 2003; Kim, 2005, 2007; Kim *et al.*, 2009).

II. KoFlux 현황

전구 플럭스 관측망인 FLUXNET에서 중요한 역할을 담당하고 있는 KoFlux는 2008년에 AsiaFlux 본부사무소를 서울에 유치하였고, 일본, 중국과 더불어 아시아 주요 생태계 플럭스 관측망인 AsiaFlux의 발전과 확장을 선도하고 있다. AsiaFlux는 생태계 감시를 위한 첨단관측시스템의 아시아 국가간 네트워크로서 1999년부터 자료 공유 체계와 정보의 표준화를 추구해온 준비된 국가간 과학 공동체이다. KoFlux는 AsiaFlux의 비전을 공유함으로써, 다양한 관련분야간의 협력과 융합을 추진하고, 탄소/물/에너지 플럭스에 관한 생태계 과학 지식의 창출과 정보 서비스를 통해 사회-생태시스템의 지속가능성을 실현하는데 기여하고 있다. KoFlux는 한반도 주요 생태계에서 지속적인 탄소/물/에너지 플럭스의 관측과 독자적인 자료 기반을 바탕으로 (1) 탄소/물/에너지의 수지를 정량화하고, (2) 탄소/물/에너지 순환 메커니즘과 과정들간의 네트워킹을 이해하고, (3) 아시아 몬순 기후가 탄소/물/에너지 순환에 미치는 영향을 파악하고, (4) 탄력사고를 기반으로 한 사회-생태시스템의 지속가능성에 대한 연구분석과, (5) 전문인력을 양성하는 것을 주요 목표로 하고 있다.

2002년 출범이후, KoFlux는 국내외의 다양한 생태

Fig. 1. Photo of "KoFlux Kick-Off" during the 2nd AsiaFlux workshop held in Jeju Island, Korea in 9-11 January 2002.

Table 1. List of KoFlux sites

Site	Ecosystem Type	Coordinate	Observation Period	Research Institute
Gwangneung (Korea)	Deciduous forest	37°45'25.37"N; 127°09'11.62"E	2000-2003	KFRI, Yonsei Uni.
		37°44'53.9"N; 127°08'52.67"E	Nov. 2004-Present	KFRI, Yonsei Uni.
Gwangneung (Korea)	Coniferous forest	37°44'54.7"N; 127°09'46.6"E	Oct. 2006-Present	KFRI, Yonsei Uni.
Seolmacheon (Korea)	Mixed forest	37°56'10.40"N; 126°57'24.72"E	Aug. 2007-Present	HSC, Yonsei Uni.
Hari (Korea)	Rice paddy	37°4'N; 126°2'E	2002	Yonsei Uni.
		37°18'20.34"N; 127°30'40.46"E	2003	NIAS
Cheongmicheon (Korea)	Rice paddy	37°09'33.23"N; 127°39'0.88"E	Aug. 2008-Present	HSC, Yonsei Uni.
Haeman (Korea)	Farmland	34°33'12.99"N; 126°33'51.52"E	Feb. 2002-Present	NIMI, Yonsei Uni.
Tak (Thailand)	Tropical	16°56'N; 99°25"E	2001-2003	Tokyo Uni., Yonsei Uni.
Tibet plateau (China)	Shortgrass	92°04'N; 31°29"E	1998	Tsukuba Uni., Okayama Uni., Kyoto Uni. CANS, Yonsei Uni.
Dasan Station (Arctic)	Tundra	78°55'N; 56°11'W	Jan. 2003-Present	KPRI
The King Sejong Station (Antarctic)	Ocean	62°13'23"S; 58°47'21"W	Feb. 2008-Present	KPRI
Jeodo (Korea)	Ocean	32°07'22.63"N; 125°10'56.81"E	2003-2004	Yonsei Uni.

Abbreviation: KFRI-Korea Forest Research Institute; HSC-Hydrological Survey Center; NIAS-National Institute of Agricultural Science and Technology; NIMI-National Institute of Meteorological Institute; CAMS-Chimes Administration for Meteorological Sciences; KPRI-Korea Polar Research Institute

계에서 플렉스 관측을 실시하여왔다. 국내 관측지로는 경기도 포천시 광릉 국립수목원내 활엽수림/침엽수림, 경기도 파주 혼효림, 경기도 강화군 하리, 수원, 여주 청미천의 논, 전라남도 해남의 농경지, 이어도 해양이 있으며, 국외 관측지로는 타이 아열대 산림, 중국 티벳고원의 초원, 북극의 세종기지, 남극의 다산기지가 있다(Table 1; Kim *et al.*, 2002). Table 1은 과거에 플렉스 관측이 이루어 졌지만 현재 중단된 사이트와 현재 관측이 진행중인 사이트 모두를 포함하였다. Table 1은 관측지 위경도, 생태계 타입, 관측기간, 참여기관만을 보고하였으며 관측지와 관측시기에 대한 더 자세한 정보는 Appendix에 다루었다. 과거 관측지중 관측정보가 없는 사이트는 Appendix에서 제외하였다. Table 1에 등록에 총 13개 관측지중, 현재 KoFlux는 국내 주요 식생인 산림(활엽수림, 침엽수림, 혼효림), 논, 농경지와 지구 온난화에 가장 민감한 생태계인 남극과 북극 툰드라 생태계 총 6곳에서 플렉스 감시·관측을 실시하고 있다. KoFlux참여기관은 연구소와 대학

(국립기상연구소, 국립산림과학원, 한국극지연구소, 유량조사사업단, 연세대학교, 국가농림기상센터)으로 구성되어있으며 각 기관은 자체의 연구목적하에 독립 혹은 협동으로 플렉스 타워를 운영하고 있다. 강원대학교와 바이로이트 대학교 국제연구 및 교육사업인 TERRECO(Complex Terrain and Ecological Heterogeneity)의 일환으로 강원도 양구군 해안면의 논과 농경지에서 플렉스 관측이 진행 중에 있으며, 2011년에는 국립환경과학원이 경기도 광주 곤지암에, 한국수자원공사가 전라북도 진안군 용담댐에 플렉스 관측을 실시할 예정이다. 따라서 이들 플렉스 관측지를 KoFlux 관측지로 등재하여 KoFlux 관측망을 확장하고 각 연구기관과 유기적 연계를 이루고자 한다.

KoFlux에 등록된 관측지의 플렉스 자료는KoFlux 표준화 자료 처리 방법을 사용하여 체계적으로 처리 분석하고 있으며(Hong *et al.*, 2009) 품질 검증된 플렉스 자료의 데이터 베이스 구축을 진행하고 있다. KoFlux 표준화 자료 처리 방법은 좌표변화 및 밀도

효과 보정 후 뒤는 자료를 제거하고 이산화탄소 플럭스와 증발산량에 대해 각기 다른 결측 자료 채우기 방법을 적용한다. 현재 KoFlux 표준화 자료 처리 방법은 AsiaFlux에서 사용되는 자료 처리방법과 비교를 통해 수정 혹은 추가 사항을 꾸준히 보완해 나가고 있다. KoFlux 표준화 자료 처리 방법은 Unix와 Matlab기반으로 되어있어 두 프로그램 기반이 있어야만 실행 가능하여 일반 사용자가 사용하는데 어려움이 따른다. KoFlux 표준화 자료 처리 방법을 윈도우 기반에서 실행이 가능하도록 하기위해 현재 free 소프트웨어인 Python을 사용하여 표준화 자료 처리 방법의 프로그램 전환이 수행중에 있다. 또한 KoFlux 표준화 자료 처리 방법을 사용하여 과거 플럭스 자료를 재처리하고 현재 관측되는 플럭스 자료와 통합·비교를 가능하게 하여 DB 구축을 보강하고자 한다.

이렇게 품질 검증된 자료는 국내 탄소/물/에너지 모형 관련 전문가들이 모형 검증자료로 사용하고 있다(Jang *et al.*, 2009; Jang *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010). 국제적으로는 AsiaFlux 와 전 세계 플럭스 관측 자료를 모으는 FLUXNET La Thuile 자료 통합 프로젝트에 참여하여 4개 관측지(광릉 활엽수림·침엽수림, 설마천 혼효림, 해남 농경지) 10년 자료를 제출하였다. 또한 한·중·일 국제공동연구과제인 A3 Foresight “Carbo-EastAsia”와 AsiaFlux DB에 2개 관측지(광릉 활엽수림과 해남 농경지) 6년 자료를 제출하였으며 추가로 2개 관측지(광릉 침엽수림과 설마천 혼효림) 자료를 제출할 예정이다.

III. KoFlux 주요연구내용

KoFlux는 공식적으로 2002년부터 국내외 육상 생태계의 탄소, 물, 에너지 순환에 관한 현장 관측 기반을 제공하며, 관측DB를 구축하여 이를 국내외 과학자들에게 제공해 왔다. 이를 근간으로 지속적인 학제간 공동연구의 장을 제공해 왔으며, 정기적으로 축적된 연구 결과들을 모아서 특별호 형식으로 국내외 학술 논문집을 지속적으로 발행해 왔다.

‘KoFlux 2002 Synthesis’(한국농림기상학회, 2003년 5권 2호)는 2001년 KoFlux 키오프 이후 첫 2년동안의 관측 자료를 바탕으로 수행된 11편의 연구논문으로 이루어졌다. Moon *et al.*(2003)은 강화도 하리의 전형적인 논에서 전 생장기간동안의 에너지와 순생태계

탄소 교환량(net ecosystem CO₂ exchange, NEE)을 정량화하고 분석한 국내 최초의 직접 관측이었다. Lee *et al.*(2003)은 비균질한 해남 농경지에서 NEE를 측정, 추수전까지 상대적으로 강한 탄소흡원이었던 농경지가 추수이후 약한 발원이 됨을 보였다. 복잡지형인 광릉 낙엽 활엽수림에서는, Choi *et al.*(2003)이 국내 최초로 NEE를 직접 관측하였고, Kim *et al.*(2003)은 연간 낙엽낙지 유입량과 낙엽분해율을 측정하였다. Park *et al.*(2003)은 광릉 침엽수림에서 토양열 플럭스의 공간 변화를 조사하였으며, Chae *et al.*(2003)은 산림 마루로부터의 토양 CO₂ 플럭스를 폐회로 챔버 시스템을 사용하여 관측해 내었다. Lim *et al.*(2003)은 광릉 활엽수림의 산림 식생구조 및 입지환경과 탄소저장량을 조사하였다. Son *et al.*(2003)은 검단산 한계농지에서의 토양 CO₂ 플럭스 및 질소 유효도를 조사하여 과거 생태조건에 따른 토양호흡 차이를 보고하였다. Kim *et al.*(2003)은 태국 Tak 지역의 열대림에 플럭스 타워를 구축하고 실시간 자료 감시 및 모사 시스템을 이용한 자료 수집, 전송, 저장, 처리 시스템을 제시하였다. Moon *et al.*(2003)은 대표적인 순복사계들을 야외에서 상호 비교, 보정할 실험 결과를 보고하였다. Hong *et al.*(2003)은 해남 농경지에서 타워 관측, 대류 경계층 수치 방법, MM5 중규모 모형, NCAP/NCEP 재분석 자료를 사용하여 다양한 면적을 대표하는 현열 플럭스를 추정하고 비교함으로써 스케일링에 따른 문제를 다루었다.

‘KoFlux 2004 Synthesis’(한국농림기상학회, 2005년 7권 1호)에는 ‘한국 생태계의 물과 탄소 순환의 이해를 통한 기후변화협약대응’을 주제로 13편의 논문이 게재되었다. 관측, 이론, 모델링에 관한 재검토로서 Hong *et al.*(2005)은 FIFE 국제 공동실험사례를 척도로 복잡 경관에 위치한 산림에서 관측된 타워 플럭스 자료를 모형이나 위성영상의 격자 크기로 스케일링할 경우 고려해야 할 새로운 패러다임을 제시하였다. Lee(2005)은 국내 물 및 탄소 순환 연구에 안정동위원소가 적극적으로 활용될 수 있도록 그 이론적 배경과 광릉 산림 소유역의 연구 사례를 소개하였다. Koo *et al.*(2005)은 토양호흡을 미생물 호흡과 뿌리 호흡으로 구분하는 방법론에 대하여 고찰하였다. 국내 실측 자료에 근거한 물과 탄소 순환에 관한 연구결과로서, Choi *et al.*(2005)은 3년간 플럭스 타워에서 관측된 광릉 산림 소유역의 다양한 미기후학적 특성을 분석

요약하였고, Lee *et al.*(2005)는 이천 논에서 에디 공분산으로 관측된 증발산과 NEE의 일변화와 계절변화를 보고하였다. Suh *et al.*(2005)은 광릉 활엽수림에서 리터 생산과 분해속도가 토양호흡의 계절 변동에 미치는 영향을 파악하였다. Eum *et al.*(2005)은 BIOME-BGC 생지화학 모형을 사용하여 복잡산림에서 기후가 순일차생산에 미치는 영향을 조사하였다. 이외에도, 물 순환 조사 및 해석 기술에 관한 실내 및 야외 실험 결과로서 (1) Time domain reflectometer를 이용한 설마천 소유역의 산지사면 토양 수분 측정과 감쇄특성분석(Lee *et al.*, 2005); (2) 부력추와 로드셀을 이용한 해남 농경지의 자유수면 증발의 정밀관측과 해석(Han and Lee, 2005); (3) 전기 비저항 탐사를 통한 광릉 산림 소유역의 지하구조 해석과 지하수공의 최적위치 추정(Choi *et al.*, 2005); (4) 식물 환경조절 시스템에서의 다양한 토양 호흡관측 챔버법의 상호비교 실험(Chae *et al.*, 2005)과 (5) 고해상도 위성영상과 수치고도모형을 이용한 광릉 산림 관측지의 공간 특성 분석(Moon *et al.*, 2005)에 대한 연구 결과가 제시되었다.

‘KoFlux 2006 Synthesis’(2007년 9권 2호)에는 KoFlux 광릉 슈퍼사이트를 중심으로 추진중인 ‘HydroKorea’와 ‘CarbonKorea’의 연구내용을 바탕으로 지하수-토양-군락-대기의 연속체의 관점에서 관측-모형-인공위성기반의 연구결과를 요약하였다. 가장 하층경계인 지하수의 경우, Choi *et al.*(2007)은 광릉 소유역에서 지하수 함양을 분석을 통해 수문순환의 역학적 특성을 제시하였으며, Son *et al.*(2007)은 산지사면에서 관측된 토양수분의 시계열 자료를 분석하고 토양수분 전이과정을 논의하였다. Yun *et al.*(2007)은 광릉복잡지형에서 좌표회전방법에 따라 플럭스 관측에 미치는 효과를 정량화하였다. 수문생지화학적 접근을 통해 Kim *et al.*(2007a)은 물과 탄소의 유역 내 이동 경로, 저류, 체류시간 및 상호작용에 관한 연구결과와 몬순으로 인한 수문과정의 변화가 탄소 순환에 미치는 영향을 제시하였다. Kim *et al.*(2007b)은 식생 및 수문자료와 지리정보시스템을 기반으로 지역규모의 생태수문모형 RHESSys를 적용, 관측과 위성의 서로 다른 공간규모를 연계하여 탄소와 물 순환의 통합을 시도하였다. Kim *et al.*(2007c)은 입력 자료의 오차를 정량화하고 개선된 입력 자료를 사용하여 MODIS 위성영상에서 계산된 총일차생산성의 신뢰도

를 분석하였다. Moon *et al.*(2007)은 세미베리오그램을 이용하여 광릉 산림과 해남 농경지에서 비균질성의 공간규모를 정량화하였으며, Lee *et al.*(2007)은 몬순 기후와 복잡지형의 특성을 갖는 광릉 산림유역의 물과 탄소 순환에 대한 다양한 교차규모의 연구결과를 종합하여 요약하였다.

‘KoFlux 2009 Synthesis’(Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2009년 45권 2호)는 ‘Energy, Water, and Carbon Exchange at the Land-Atmosphere Interface’를 주제로 AsiaFlux를 대상으로 10편의 논문이 최종게재되었으며, 지면 과정이 기후시스템에 미치는 영향중 특히 자연과 인간에 의한 교란이 지면 과정에 미치는 영향에 초점을 맞추었다. Lee *et al.*(2009)은 광릉 소유역에서 관측된 지하수 수위변동을 증발산과 지구조석으로 분리, 해석하였으며, Kim *et al.*(2009a)는 산사에서 관측된 장기 토양수분 자료를 사용하여 토양수분의 공간변동을 예측할 수 있는 규모 확장방법을 제안하였다. Wang *et al.*(2009)은 4년간 관측을 바탕으로 중국 아열대 침엽수림 조림지에서 낙지분해가 토양호흡에 미치는 영향을 평가하였다. Kwon *et al.*(2009)은 두 주요 식생인 산림과 농경지에서 자연적 교란(i.e., 몬순, 태풍)과 인위적 교란(i.e., 관개, 이모작)이 NEE 변화에 큰 영향을 미침을 보였다. 소유역 수문과 수자원 관리의 일환으로 Kim *et al.*(2009b)은 ^3H 와 ^{35}S 동위원소 관측을 사용하여 산림 소유역내 물의 평균 체류시간을 산출하였다. Kang *et al.*(2009)은 다년간의 관측자료를 사용하여 산림과 농업생태계의 증발산 변동과 조절 메커니즘을 분석하였다. Chae *et al.*(2009)은 잎의 탄소 동위원소 관측과 물사용효율(water use efficiency)을 연계하여 물과 탄소 교환의 상호의존도를 조사하였다. Mi *et al.*(2009)은 계절가뭄이 중국의 아열대 침엽수림의 지표 에너지 분배에 미치는 영향을 조사하였으며, Hong *et al.*(2009)은 중규모 모형을 사용하여 비균질한 농경지에서 지역규모의 현열 플럭스를 모사하였다. Jang *et al.*(2009)은 MODIS에서 추정된 복사와 증발산을 관측과 비교함으로써 MODIS 알고리즘을 평가하였다.

다년간의 지속적인 수문생태 및 생지화학 관측과 모델링 및 원격탐사와의 연계를 통해 다양한 분야에서 의미있는 연구결과들이 얻어졌다. 2001년부터 10년간 KoFlux와 관련한 출판물의 수는 약 140여 편으로서, 국내학술지 논문이 71편, 국제학술지 논문이 52편이

Fig. 2. The KoFlux publications from 2001 to 2010.

Fig. 3. Net ecosystem carbon exchange (NEE) in a deciduous forest and a mixed farmland in Korea. Positive NEE indicates carbon release and negative NEE indicates carbon uptake.

게재되었다. 연구과제의 시작과 종료 및 특별호의 출판과 관련하여 증감의 변동이 있었으나, 국제학술지 논문의 경우, 장기 관측DB의 구축과 학제간/다학문간 연구의 시너지를 통해 매년 연구성과가 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다(Fig. 2).

주목할 만한 결과로는 아시아 몬순이 한반도 생태계의 탄소와 물 순환에 미치는 영향을 들 수 있다. 한반도는 아시아 몬순의 영향으로 여름기간동안 한달 이상 지속되는 장마와 잦은 태풍의 영향을 받게 되는데 이와 같은 자연적 교란은 생태계의 탄소와 물 교환에 영향을 미칠 뿐 아니라 그러한 교란에 적응하게 된다. 몬순 기간동안 잦은 강수로 낮아진 일사량은 다양한 메커니즘을 통해 활엽수림의 NEE를 감소시켜 탄소 흡원인 산림을 발원으로 변화시켰다(Fig. 3). 활엽수림에 비해 농경지는 자연적 교란에 의한 NEE 변동은 상대적으로 적었으나, 이모작과 같은 인위적인 교란이

NEE 변화에 큰 영향을 미쳤다(Kwon *et al.*, 2010). 중발산 또한 활엽수림과 농경지 모두 몬순의 영향을 받아 감소하는 패턴을 보였다(Kang *et al.*, 2009). Hong and Kim(2010)은 파엽(wavelet) 분석을 통해 몬순이 광릉 산림의 탄소와 물 교환에 미치는 영향을 분석하였는데, 모형이 몬순이 생태계에 미치는 영향(예를 들면, 엽면적지수 감소 등)을 제대로 모사하지 못함을 보이고, 모형 내에 몬순에 의한 교란 효과가 제대로 고려되어야함을 지적하였다.

IV. KoFlux 학술활동 및 교육과정

KoFlux는 국내외 학술발표회와 교육과정을 개최함으로써 다양한 연구 배경을 가진 플럭스 관측 전문가들의 네트워크 구축과 정보교환의 장을 마련하였으며 국내외 부족한 플럭스 관측 전문인력 양성을 위한 전문 교육을 실시하였다. 2002년 제주도에서 열린 AsiaFlux 워크숍에는 국내외 저명 과학자와 플럭스 관측/모형 전문가를 모시고 “KoFlux Kick-Off” 워크숍을 주최하였다. 2008년 서울에서 두번째로 AsiaFlux 워크숍을 개최하였으며 13개국 200명이 참가하여 다양한 주제를 가지고 워크숍이 진행되었다. 2009년과 2010년에는 국내 지표 플럭스 관측-모형 전문가 워크숍을 개최하여 국내 플럭스 관련 정보교환, 관측/모형 자료 사용의 극대화 추진, 관측/모형 융합 등의 토론을 위한 장을 마련하였다(Fig. 4). 전문인력 양성을 위한 교육과정은 2007년 AsiaFlux 교육과정, 2009년과 2010년에 국내 지표 플럭스 교육과정을 실시하여 에디 공분산 이론, 에디 공분산 관측, 플럭스 자료 처리 및 미기상 장비 교육을 실시하였다(Fig. 4). KoFlux는 산학연 협동으로 국내 지표 플럭스 워크숍과 교육과정은 매년 개최할 예정이며 지속적인 연계와 교육을 통하여 지표 플럭스 전문가간의 협력을 강화하고 플럭스 네트워크를 활용하는 전문인력양성 및 확보에 기여하고자 한다.

V. KoFlux 향방

지난 10여 년간의 공동연구의 결실에도 불구하고 KoFlux에 등재된 산학연기관을 제외하고는 아직까지 탄소/물/에너지 플럭스 관측 및 감시망 확대를 위한 국내 네트워크가 활성화 되지 못하고 있다. 예를 들면,

Fig. 4. Photos of the 1st domestic expert workshop on surface flux measurement and modelling (top) and the 1st domestic training course on flux theory and measurements (bottom) held in Seoul, Korea in 10-12 June 2009.

국립농업과학원의 논과 과수원에서의 플럭스 관측과 국가장기생태연구의 일환으로 점봉산, 남산, 지리산 등에 구축된 플럭스 관측 시스템들이 있으나, 개별적인 연구 진행으로 KoFlux와 유기적 연계가 이루어지지 않고 있다. 또한 연구과제의 목적에 따라 관측 장비나 자료처리방법이 다르기 때문에 플럭스 관측의 상호비교와 투명성있는 DB 구축이 어려운 실정이다. 지속적인 관측 시스템의 정량적인 증가와는 달리 이를 전달할 전문 연구인력이 턱없이 부족하며, 이로 인해 관측 시스템의 운영과 방대한 양의 자료 처리·관리 및 분

석은 큰 어려움을 겪고 있다.

이러한 어려움을 극복하기 위해, KoFlux는 2011년부터 국가농림기상센터를 중심으로 플럭스 관측망을 보완·확장하고, 플럭스 관측에 관련된 폭넓은 교육 훈련을 실시하고, 농림생태계관련 과학 정보의 생산과 서비스를 제공하고자 한다. 관측망의 보강은 현재 국내에 설치된 기존의 플럭스 관측 시스템을 보완(예, 기본 플럭스 및 미기상 관측 기기 설치, 주기적 기기 보정 및 비교실험)하고 관측 시스템 및 자료 처리과정을 표준화하여 관측 자료의 상호 비교를 용이하게 하

는 것을 말한다. 아울러 생태계와 기후변화 감시를 위해 북한의 전략적 지역에 플럭스 관측 타워를 설치하여 남북한 지역을 통합하는 관측 네트워크 구축을 계획하고 있다. 교육은 지속적인 플럭스 관측 교육과 실측 경험을 통해 독립적으로 플럭스 관측 시스템을 운영하고 자료 처리·분석 할 수 있는 전문인력 양성과 국내의 플럭스 관측을 주도할 수 있는 차세대 리더 양성을 말한다. 서비스는 플럭스 관측 및 자료 처리 표준화 정립을 통한 기술 서비스, 플럭스 자료 제공 서비스, 양성된 전문 인력을 통한 서비스를 내용으로 한다. 국가농림기상센터에 기반을 둔 KoFlux는 탄탄한 하부구조와 기술·자료·전문인력 서비스를 통해 산학연을 연계하는 역할을 담당하고 국가 기후변화 대응 정책을 지원하는 핵심인프라로 자리매김 하고자 한다. 국제적으로는 AsiaFlux의 핵심 구성원으로서 “CarboEastAsia”와 “HydroEastAsia” 등의 국제 공동 연구 및 협력 프로그램을 지속적으로 주도하여 몬순 아시아의 탄소/물/에너지 순환을 규명하고 그 변화에 적응하여 생태계서비스를 지속적으로 제공할 수 있도록 함으로써 아시아 지역의 지속가능성을 실현하고자 한다.

적 요

KoFlux는 한국의 주요 육상생태계와 대기간의 에너지, 물, 이산화탄소의 순환을 감시하기 위해 구축한 에디 공분산 기술을 기반으로 하는 미기상학 플럭스 타워 관측지의 국내 관측망이다. KoFlux의 사명은 AsiaFlux와 동일하게 지구상의 생명의 질과 지속가능성을 보장하기 위해 아시아의 주요 생태계를 감시하고 돌보는 것이다. 구체적인 KoFlux의 목적은 (1) 생태계를 감시하고, 자료를 수집, 저장하고 배포를 가능하게 하는 하부구조와 (2) 이에 관련된 지식과 자료를 효과적으로 적용하고 배포하기 위해 정기적으로 포럼과 단기 훈련과정을 과학공동체에 제공하는 것이다. KoFlux는 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 추구하며 실천해 나간다.

현재 KoFlux 네트워크는 총 일곱 개의 관측지로 구성되어 있는데 국내의 경우 활엽수림, 침엽수림, 혼

효림, 논과 비균질 농경지를 포함하며, 국외의 경우 남극과 북극의 툰드라 생태계에 위치해 있다. 등재된 관측지는 모두 표준화된 프로토콜을 사용하여 자료를 체계적으로 처리하고 있으며 자유롭게 자료 활용이 가능하도록 품질 검증된 플럭스 자료의 데이터베이스를 지속적으로 구축해 가고 있다. KoFlux는 정기적인 학술 논문 출판, 포럼 및 훈련과정을 통해, 네트워크를 성장시키고, 플럭스 관측 및 모델링 전문가간의 연결 및 정보교환을 위한 아고라를 제공하며, 관측 및 자료 분석을 위한 전문인력 양성을 위한 교육에 힘쓰고 있다. 그러나 이러한 지속적인 노력에도 불구하고 KoFlux에 등재된 산학연구기관을 제외하고는 아직까지 네트워크의 성장이 제한되어 있는 실정이다. 이러한 학문간의 벽을 허물고, 네트워크에 대한 동반자 및 주인의 의식을 고취시키기 위해 KoFlux는 2011년부터 서울대학교에 설립된 국가농림기상센터를 중심으로 NCAM의 주요 서비스를 담당하게 될 것이다. 이러한 일치된 협력은 현재의 감시 네트워크를 더욱 보강시키고, 차세대 과학자들을 길러내며, 우리 사회에 지속가능한 생태계 서비스의 제공을 보장할 수 있도록 이끌어 줄 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제번호:1-8-3) 및 국립산림과학원 “지구환경변화에 대응한 장기생태연구”와 한국연구재단의 A3 Foresight 프로그램의 연구비지원을 받아 수행되었습니다. KoFlux에 헌신적으로 기여하고 지원을 아끼지 않은 관계 연구자들과 지원기관들에 감사를 드립니다.

REFERENCE

- Chae, N., D. Lee, J.-H. Lim, J. Hong, and S. Kang, 2009: Inferring water and carbon exchanges from leaf carbon isotope composition of quercus serrata and carpinus laxiflora grown in a forest with a complex landscape in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 193-205.
- Chae, N., J. Kim, D. Kim, D. Lee, R.-H. Kim, J. Ban, and Y. Son, 2003: Measurement of soil CO₂ Efflux using a closed dynamic chamber system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 93-100.

- Choi, I. H., N. C. Woo, S.-J. Kim, S.-K. Moon, and J. Kim, 2007: Estimation of the groundwater recharge rate during a rainy season at a headwater catchment in gwangneung, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 75-87.
- Choi, T., J. Kim, and J.-H. Lim, 2003: CO₂ exchange in kwangneung broadleaf deciduous forest in a hilly terrain in the summer of 2002. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 70-80.
- Choi, T., J.-W. Lim, J.-H. Chun, D. Lee, and J. Kim, 2005: Microclimatological characteristics observed from the flux tower in gwangneung forest watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 35-44. (in Korean with English abstract)
- Eum, S., S. Kang, and D. Lee, 2005: A simulation study to investigate climatic controls on net primary production (NPP) of a rugged forested landscape in the mid-western Korean Peninsula. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 66-77.
- Han, J.-S., and B.-Y. Lee, 2005: Measurement and analysis of free water evaporation at Haenam paddy field. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 91-97. (in Korean with English abstract)
- Harazono, Y., J. Kim, A. Miyata, T. Choi, J.-I. Yun, and J.-W. Kim, 1998: Measurement of energy budget components during the International Rice Experiment (IREX) in Japan. *Hydrological Processes* **12**, 2018-2092.
- Hong, J., C. Cho, T.-Y. Lee, and M. Leclerc, 2009: Impact of large-scale advection on regional heat flux estimation over patchy agricultural land. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 221-231.
- Hong, J., D. Lee, and J. Kim, 2005: Lessons from FIFE on scaling of surface fluxes at gwangneung forest site. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 4-14. (in Korean with English abstract)
- Hong, J., H. C. Lee, J. Kim, B. Kim, C. Cho, and S. Lee, 2003: Inferring regional scale surface heat flux around FK KoFlux site: from one point tower measurement to MM5 mesoscale model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 138-149.
- Hong, J., H. Kwon, J.-H. Lim, Y.-H. Byun, J. Lee, and J. Kim, 2009: Standardization of Koflux eddy-covariance data processing. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 19-26. (in Korean with English abstract)
- Hong, J., J. Kim, A. Miyata, and Y. Harazono, 2002: Basic characteristics of canopy turbulence in a homogeneous rice paddy. *Journal of Eophysial Research* **107**, ACH8-1-20.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The physical science basis. contribution of working group i to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jang, J., H., J. Hong, Y. H. Ryun, H. Kwon, N. Y. Chae, J.-H. Lim, and J. Kim, 2010: A sensitivity analysis of JULES land surface model for two major ecosystems in Korea: Influence of biophysical parameters on the simulation of gross primary productivity and ecosystem respiration. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(2), 107-121. (in Korean with English abstract)
- Jang, K., S. Kang, H. Kim, and H. Kwon, 2009: Evaluation of shortwave irradiance and evapotranspiration derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 233-246.
- Kang, M., S. Park, H. Kwon, H. T. Choi, Y.-J. Choi, and J. Kim, 2009: Evapotranspiration from a deciduous forest in a complex terrain and a heterogeneous farmland under monsoon climate. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 175-191.
- Katul, G. G., R. Leuning, J. Kim, O. T. Denmead, and A. Miyata, 2000: Estimating momentum and CO₂ source/sink distribution within a rice canopy using higher-order closure models. *Boundary-Layer Meteorology* **98**, 103-125.
- Kim, C., J.-H. Lim, and J. H. Shin, 2003: Nutrient dynamics in litterfall and decomposing leaf litter at the kwangneung deciduous broad-leaved natural forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 87-93.
- Kim, E. S., S.-J., D. Lee, J. Kim, and S. Kim, 2007b: Parameterization and application of Regional Hydro-Ecologic Simulation System (RHESSys) for integrating the eco-hydrological processes in the gwangneung headwater catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 121-131.
- Kim, J., 2005: KoFlux 2004 Synthesis: Coping with climate change protocols by understanding carbon and water cycles in Korean ecosystems. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 1-3. (in Korean)
- Kim, J., 2007: KoFlux 2006 Synthesis: HydroKorea and CarboKorea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 71-74.
- Kim, J., and C.-S. Rho, 2003: Forward. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 49-50.
- Kim, J., D. Lee, J. Hong, S. Kang, S.-J. Kim, S.-K. Moon, J.-H. Lim, Y. Son, J. Lee, S. Kim, N. Woo, K. Kim, B. Lee, B.-L. Lee, and S. Kim, 2006: HydroKorea and CarboKorea: Cross-scale studies of ecohydrology and biogeochemistry in a heterogeneous and complex forest catchment of Korea. *Ecological Research* **21**, 881-889.
- Kim, J., F. Chen, and S. Kim, 2009: Forward. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 113-120.
- Kim, J., and T. Hirano, 2010: Integrating cross-scale ecosystem knowledge: bridges and barriers. *iLEPAS Newsletter* **9**,

- 52-53
- Kim, J., W. Kim, C.-H. Cho, B.-C. Choi, H.-S. Chung, B.-L. Lee, K.-H. Kim, K. R. Kim, M.-Y. kim, B.-Y. Lee, D. Lee, G.-W. Lee, J.-T. Lee, J.-H. Lim, J.-H. Oh, E.-W., Park, J.-S. Shim, J.-I. Yun, and C.-S. Rho, 2002: KoFlux: A new tool to study the biosphere-atmosphere interactions in Asia. *Ecology of Korea*, D. Lee, V. Jin, J. Choe, Y. Son, S. Yoo, H.-Y. Lee, S.-K. Hong, B.-S. Ihm (Eds), Bumwoo Publishing Company, 215-229.
- Kim, S., Y. Kwak, and S.-J. Kim, 2009a: A soil moisture upscaling technique based on topographic attributes. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 121-135.
- Kim, S.-J., D. Lee, J. Kim, and S. Kim, 2007a: Hydrobiogeochemical approaches to understanding of water and carbon cycling in the gwangneung forest catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 109-120.
- Kim, S.-J., Y. Jeong, K. Kim, J. Yoo, C. Jeong, and J. Jun, 2005: Change of stream water chemistry and contribution of subsurface discharge in forest catchment during storm events. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 51-56. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.-J., D. Lee, J. Kim, and S. Kim, 2009b: Use of isotope data to determine Mean Residence Time (MRT) of water in a forest catchment: ^{35}S and ^3H -based estimates. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 165-173.
- Kim, Y.-I., S. Kang, and S. Kim, 2007c: Enhancing the reliability of MODIS gross primary productivity (GPP) by improving input data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 132-139.
- Kim, W., H. Kim, J. Kim, Y. Agata, S. Miyazaki, and T. Oki, 2003: Real Time Monitoring and Simulation System (RTMASS) for Tak flux measurement site, Thailand. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 116-127.
- Koo, J.-W., Y. Son, R.-H. Kim, and J. Kim, 2005: A study on methods of separating soil respiration by source. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 28-34. (in Korean with English abstract)
- Kwon, H., T.-Y. Park, J. Hong, and J. Kim, 2009: Seasonality of net ecosystem carbon exchange in two major plant functional types in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 149-163.
- Lee, D., 2005: Stable isotope studies for constraining water and carbon cycles in terrestrial ecosystems: A review. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 15-27. (in Korean with English abstract)
- Lee, D., J. Kim, S.-J. Kim, S.-K. Moon, J.-H. Lim, Y. Son, S. King, S. Kim, K. Kim, N. Wo, B. Lee, and S. Kim, 2007: Lessons from cross-scale studies of water and carbon cycles in the gwangneung forest catchment in a complex landscape of monsoon Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 149-160.
- Lee, G. Y., S. H. Kim, K. H. Kim, and H. S. Lee, 2005: Analysis of soil moisture recession characteristics on hillslope through the intensive monitoring using TDR. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 78-90. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. A., T.-K. Hong, H. Kwon, J.-H. Lim, and N. C. Woo, 2009: Effects of evapotranspiration and earth tides on the water-level fluctuation in a forest catchment in gwangneung. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 113-120.
- Lee, H. C., J. Hong, C.-H. Cho, B.-C. Choi, S.-N. Oh, and J. Kim, 2003: Surface exchange of energy and carbon dioxide between the atmosphere and a farmland in Haenam, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 61-69.
- Lee, J., Y. Lee, G. Kim, and K. Shim, 2005: CO_2 and water vapor flux measurement by eddy covariance method in a paddy field in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 45-50. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.-H., J. H. Shin, G. Z. Jin, J. H. Chun, and J. S. Oh, 2003: Forest stand structure, site characteristics and carbon budget of the Kwangneung natural forest in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 101-109.
- Medow, D. H., J. Randers, and D. L. Meadows, 2004: The limits to growth: the 30-year update (3rd ed.) Chelsea Green, 368pp.
- Mi, N., G. Yu, X. Wen, X. Sun, S. wang, L. Zhang, and X. Song, 2009: Use of ecosystem flux data and a simulation model to examine seasonal drought effects on a subtropical coniferous forest. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 207-220.
- Miyata, A., R. Leuning, O. T. Denmead, J. Kim, and Y. Harazono, 2000: Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field. *Agricultural and Forest Meteorology* **102**, 287-303.
- Moon, B.-K., J. Hong, B.-R. Lee, J. I. Yun, E. W. Park, and J. Kim, 2003: CO_2 and energy exchange in a rice paddy for the growing season of 2002 in Hari, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 51-60.
- Moon, B.-K., S.-B. Ryoo, Y.-H. Youn, J.-H. Lim and J. Kim, 2003: Field intercomparison and calibration of net radiometers. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 128-137.
- Moon, S.-K., R. Ryu, D. Lee, J. Kim, and J.-H. Lim, 2007: Quantifying the spatial heterogeneity of the land surface parameters at the two contrasting KoFlux Sites by Semivariogram. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 140-148.
- Park, Y.-H., B.-L. Lee, and K.-S. Cho, 2003: Spatial variability of soil heat fluxes in a conifer forest. *Korean Journal of*

- Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 81-86.
- Son, M., B. Kim, B. Lee, and J. Kim, 2007: Univariate analysis of soil moisture time series for a hillslope located in the KoFlux Gwangneung supersite. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 88-99.
- Son, Y., J. Ban, R.-H. Kim, and J. Kim, 2003: Soil CO₂ evolution and nitrogen availability on abandoned agricultural fields at Mt. Kumdan. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(2), 110-115.
- Suh, S. U., Y.-K. Min, and J.-S. Lee, 2005: Seasonal variation of contribution of leaf-litter decomposition rate in soil respiration in temperate deciduous forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(1), 57-65. (in Korean with English abstract)
- Wang, Y., H. Wang, Z. Ma, X. Wen, Q. Li, Y. Liu, X. Sun, and G. Yu, 2009: Contribution of aboveground litter decomposition to soil respiration in a subtropical coniferous plantation in Southern China. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 137-147.
- Yuan, R., M. Kang, S. Park, J. Hong, D. Lee, and J. Kim, 2007: The effect of coordinate rotation on the eddy covariance flux estimation in a hilly KoFlux forest catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(2), 100-108.

Appendix.

Information on Site and Instruments of KoFlux sites.

Gwangnung Deciduous Forest				
Location	Location Gwangnung National Arboretum, Pochun-gun, Gunggi-do, Korea			
	Coordinates/Elevation/Slope 37° 44' 53.9" N;127° 08' 52.67" E/ 260 m a.s.l/15°			
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)			
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University			
	134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea			
Vegetation character	Canopy height	18~20 m		Soil Type Sandy Loam
	Dominant species	Quercus sp. and Carpinus sp.		Fetch < 2 km
	Leaf Area Index	1~6(±1), max at June		Age 80 ~ 200 years old
Observational period	Measured period	Oct. 2004~ present		
Infrastructure	Tower	40 m (walk-up)	Accommodation	Container
	Power	220V AC, Solar panels	Communications	CDMA
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)		40
		Radiometer (NR-Lite)		2
	Albedo	Radiometer (CNR-1)		40
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 20, 40
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 20, 40
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 20, 40
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 20, 40
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)		20, 40
		Krypton hygrometer (KH20)		2
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 20, 40
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)		20, 40
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		20, 40
	Air temperature/ Relative Humidity	Temperature/Humidity sensor (HMP45C)		0.3, 4, 9, 13, 19, 29
	Soil heat flux	Soil het flux plates (HFT3)		0.01, 0.1
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0.1
	Soil moisture	CS615		0.0-0.1, 0.0-0.3, 0.3-0.6
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)		20, 40
		IRGA (LI-6200)		0.1, 1, 4, 7.4, 12.2, 17.9, 30, 40.7
Precipitation	Tipping bucket (TE525)		20	
Wetness	237		0.1, 10, 15, 20	
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.		
	Data loggers	CR-5000, CR-3000, CR-1000, CR-23XTD, PC		
Other measurements	Leaf are index, soil respiration, sap flow, ground water, intensive and extensive soil moisture			

Gwangnung Coniferous Forest				
Location	Location Gwangnung National Arboretum, Pochun-gun, Gunggi-do, Korea			
	Coordinates/Elevation/Slope 37°44'54.7"N; 127°09'46.6"E/128 m a.s.l./<15° (varying with fetch)			
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)			
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University			
	134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea			
Vegetation character	Canopy height 23 m		Soil Type	Sandy Loam
	Dominant species <i>Abies sp.</i>		Fetch	< 500 m
	Leaf Area Index 4 ~ 8, max at late May		Age	80~100 years old
Observational period	Measured period Nov. 2006 ~ present			
Infrastructure	Tower 40 m	Accommodation		-
	Power 220V AC	Communications		CDMA
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		40
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)		40
		Radiometer (NR-Lite)		2
	Albedo	Radiometer (CNR-1)		40
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 40
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 40
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 40
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 40
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)		40
		Krypton hygrometer (KH20)		2
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2, 40
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)		40
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		40
	Soil heat flux	Soil het flux plate (HFT3)		0.01, 0.1
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0.1
	Soil moisture	Water content reflectometer (CS615)		0.0-0.1, 0.0-0.3, 0.3-0.6
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)		40
		IRGA (LI-6200)		0.1, 1, 4.2, 11.9, 19.6, 23.8, 30, 40.7
	Precipitation	Tipping bucket (TE525)		-
	Wetness	237		0.2, 13, 19, 24
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time 10 Hz/30 min.			
	Data loggers CR-5000, CR-1000, CR-23XTD, PC			
Other measurements	Leaf are index, pan evaporation			

Haenam Farmland					
Location	Location		Namcheon-ri, Haenam-eub, Haenam-gun, Korea		
	Coordinates/Elevation/Slope		34°33' 12.99 "N; 126°33'51.52"E/4.5m a.s.l/flat		
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)				
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea				
Vegetation character	Canopy height		< 1 m (during the rice growth)	Soil Type	Silt loam to loam
	Dominant species		Rice	Fetch	> 2 km
	Leaf Area Index		< 4	Age	-
Observational period	Measured period		July 2002 ~ present		
Infrastructure	Tower	20 m	Accommodation		Building
	Power	220V AC	Communications		CDMA
Micrometeorology	List		Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation		Radiometer (CNR-1)		20
	Upward shortwave radiation		Radiometer (CNR-1)		20
	Downward long-wave radiation		Radiometer (CNR-1)		20
	Upward long-wave radiation		Radiometer (CNR-1)		20
	Net radiation		Radiometer (CNR-1)		20
	Albedo		Radiometer (CNR-1)		20
	Wind speed		3-D sonic anemometer (CSAT3)		20
	Wind direction		3-D sonic anemometer (CSAT3)		20
	Air temperature		3-D sonic anemometer (CSAT3)		20
	Friction velocity		3-D sonic anemometer (CSAT3)		20
	Latent heat flux		IRGA (LI-7500)		20
	Sensible heat flux		3-D sonic anemometer (CSAT3)		20
	Carbon flux		IRGA (LI-7500)		20
	Atmospheric Pressure		IRGA (LI-7500)		20
	Soil heat flux		Soil het flux plates (HFT3)		0.1
	Soil temperature		Thermocouple (TCAV)		0.1
	Soil moisture		Water content reflectometer (CS615)		0.0-0.1
	Carbon and Water concentrations		IRGA (LI-7500)		20
	Precipitation		Tipping bucket (TE525)		0.5
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time		10 Hz/30 min.		
	Data loggers		CR-5000, PC		
Other measurements	Leaf are index				

Seolmacheon Mixed Forest				
Location	Location Seolma-ri, Geogseong-myun, Paju-si, Kyunggi-do, Korea			
	Coordinates/Elevation/Slope 37° 56' 10.40"N; 126° 57'24.72"E/198 m/20°			
Principal Investigators	Sung Won Jung (swjung@kict.re.kr)			
Address	Hydrological Survey Center			
	2223-2 Leaders plaza Daehwa-dong, Ilsan-gu, Goyang, Gyungggi Province, Korea			
Vegetation character	Canopy height	10 ~ 15 m		Soil Type Silt loam to loam
	Dominant species	<i>Quercus variaabili</i> , <i>Quercus serrata</i> , and <i>Quercus mongolica</i>		Fetch < 1 km
	Leaf Area Index	n/a		Age 20 ~ 40
Observational period	Measured period	Sep. 2007 ~ present		
Infrastructure	Tower	20 m	Accommodation	-
	Power	12V DC w/Solar panel	Communications	CDMA
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation	n/a		
	Upward shortwave radiation	n/a		
	Downward long-wave radiation	n/a		
	Upward long-wave radiation	n/a		
	Net radiation	Radiometer (CNR-2)		19.2
	Albedo	n/a		
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3, RM-81000)		19.2
		Weather Tansmitter (WXT510)		2, 15, 19.2
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3, RM-81000)		19.2
		Weather Transmitter (WXT510)		2, 15, 19.2
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3, RM-81000)		19.2
		Weather Transmitter (WXT510)		2, 15, 19.2
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3, RM-81000)		19.2
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)		19.2
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3, RM-81000)		19.2
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)		19.2
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		19.2
	Soil heat flux	Soil het flux plates (HFT3)		0.03
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.2
		Soil moisture	Water content reflectometer (CS615)	
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)		19.2
	Precipitation	Weather Transmitter (WXT510)		2, 19.2
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.		
	Data loggers	CR-3000, CR-800		
Other measurements	Runoff			

Cheongmicheon Rice Paddy					
Location	Location		Seolma-ri, Geogseong-myun, Paju-si, Kyunggi-do, Korea		
	Coordinates/Elevation/Slope		37° 09' 33.23"N; 127° 39' 10.88"E/- /flat		
Principal Investigators	Sung Won Jung (swjung@kict.re.kr)				
Address	Hydrological Survey Center				
	2223-2 Leaders plaza Daehwa-dong, Ilsan-gu, Goyang, Gyungggi Province, Korea				
Vegetation character	Canopy height		< 1 m (during the rice growth)	Soil Type	Silt loam to loam
	Dominant species		Rice	Fetch	> 2 km
	Leaf Area Index		n/a	Age	-
Observational period	Measured period		Sep. 2008 ~ present		
Infrastructure	Tower	20 m	Accommodation		
	Power	220V AC	Communications		
Micrometeorology	List		Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation		n/a		n/a
	Upward shortwave radiation		n/a		n/a
	Downward long-wave radiation		n/a		n/a
	Upward long-wave radiation		n/a		n/a
	Net radiation		Radiometer (CNR-2)		9.7
	Albedo		n/a		n/a
	Wind speed		3-D sonic anemometer (RM-81000)		10.1
			Weather Tansmitter (WXT510)		2, 3.5, 9.8
	Wind direction		3-D sonic anemometer (RM-81000)		10.1
			Weather Tansmitter (WXT510)		2, 3.5, 9.8
	Air temperature		3-D sonic anemometer (RM-81000)		10.1
			Weather Tansmitter (WXT510)		2, 3.5, 9.8
	Friction velocity		3-D sonic anemometer (RM-81000)		10.1
	Latent heat flux		Krypton Hygrometer (LH20)		10.1
	Sensible heat flux		3-D sonic anemometer (RM-81000)		10.1
	Carbon flux		IRGA (OP-2)		10.1
	Atmospheric Pressure		n/a		n/a
	Soil heat flux		Soil het flux plates (HFT3)		0.03
	Soil temperature		Thermocouple (TCAV)		0.05-0.1, 0.2-0.3, 0.3-0.6
	Soil moisture		Water content reflectometer (CS615)		0-0.3
Carbon and Water concentrations		IRGA (LI-7500)		10.1	
Precipitation		Weather Transmitter (WXT510)		2, 9.2	
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time		10 Hz/30 min.		
	Data loggers		CR-1000		
Other measurements	Water level				

King Sejong Station Ocean			
Location	Location King George Island, South Shetlands, the Antarctic Peninsula		
	Coordinates/Elevation/Slope 62° 13'S, 58°47'W/ - /flat		
Principal Investigators	Bang-Yong Lee (bylee@kopri.re.kr)		
Address	Korea Polar Research Institute, KOPRI		
	Songdo Techno Park, 7-50, Songdo-Dong, Yeonsu-Gu		
Vegetation character	Incheon P.O. Box 32, 406-840, Korea		
	Canopy height	-	Soil Type -
	Dominant species	-	Fetch -
	Leaf Area Index	-	Age -
Observational period	Measured period Feb. 2008 ~ present		
Infrastructure	Tower	15 m	Accommodation
	Power	220V AC	Communications
Micrometeorology	List	Instrument (Model)	Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)	12
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)	12
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)	12
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)	12
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)	12
	Albedo	Radiometer (CNR-1)	12
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)	12
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)	12
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)	12
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)	12
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)	12
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)	12
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)	12
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)	12
	Soil heat flux	n/a	n/a
	Soil temperature	n/a	n/a
	Soil moisture	n/a	n/a
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)	12
	Precipitation	n/a	n/a
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.	
	Data loggers	CR-5000	
Other measurements			

Dasan Station Tundra					
Location	LocationNy-Alesund, Svalbard Archipelago, the Arctic				
	Coordinates/Elevation/Slope78°55'N; 11°56'W/60 m / flat				
Principal Investigators	Bang-Yong Lee (bylee@kopri.re.kr)				
Address	Korea Polar Research Institute, KOPRI				
	Songdo Techno Park, 7-50, Songdo-Dong, Yeonsu-Gu				
Vegetation character	Incheon P.O. Box 32, 406-840, Korea				
	Canopy height		< 0.2 m	Soil Type	Silt loam or Silt clay loam
	Dominant species		Tundra	Fetch	> 1 km
	Leaf Area Index		n/a	Age	n/a
Observational period	Measured periodAug. 2008 ~ present				
Infrastructure	Tower	4 m	Accommodation	Container	
	Power	220V AC	Communications	-	
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)	
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Albedo	Radiometer (CNR-1)		2.2	
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)		3.5	
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)		3.5	
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)		3.5	
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)		3.5	
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)		3.5	
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)		3.5	
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)		3.5	
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		3.5	
	Soil heat flux	Soil het flux plates (HFT3)		0.1	
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0.1	
	Soil moisture	Water content reflectometer (CS615)		0.1	
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)		3.5	
	Precipitation	n/a		n/a	
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.			
	Data loggers	CR-5000			
Other measurements	Soil respiration				

Hari Rural Rice Paddy				
Location	Location Hari in Sukmo island, Gangwha-gun, Incheon, Korea			
	Coordinates/Elevation/Slope 37°4'N, 126°2'W / - / flat			
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)			
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea			
Vegetation character	Canopy height	0.95 m (12 - 22 Sept., 2001)	Soil Type	n/a
	Dominant species	Rice	Fetch	> 2 km
	Leaf Area Index	4.3±0.8 (Sept. 2001)	Age	
Observational period	Measured period March 2001 and 12 September to 30 October 2001			
Infrastructure	Tower	10 m and 3 m	Accommodation	Container
	Power	220V AC	Communications	Phone-line
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.9
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.9
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.9
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		2.9
	Net radiation	Radiometer (CNR-1 & Q7)		2.9
	Albedo	Radiometer (CNR-1)		2.9
	Solar radiation	Pyranometer (LI-200SA)		2.9
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)		5.5
		3-cup anemometer		2.9
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)		5.5
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)		5.5
	Air temperature/Relative Humidity	Temperature/Humidity sensor (HMP45C)		9
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)		5.5
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)		5.5
		Krypton hygrometer (KH20)		2
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (TC, CSAT3)		5.5
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)		5.5
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		4
		Pressure sensor (CS105B)		2.5
	Soil heat flux	Soil het flux plates (HFT3)		0.08, 0.09
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0.03, 0.05
	Soil moisture	Water content reflectometer (CS615)		0.0-0.9
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)		5.5
		Krypton hygrometer (KH2) (only water)		5.5
	Precipitation	Tipping bucket (TE525)		1
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.		
	Data loggers	CR-23X, CR 10X, CR 21X, CR-5000		
Other measurements	Leaf are index, pan evaporation			

Ieodo Ocean			
Location	Location Ieodo Ocean Research Station		
	Coordinates/Elevation/Slope 32°07'22.63″N; 125°10'56.81″E /33.5 m (from sea surface)/flat		
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)		
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea		
Vegetation character	Canopy height	-	Soil Type -
	Dominant species	-	Fetch > 10 km
	Leaf Area Index	-	Age -
Observational period	Measured period May 2003 to February 2004		
Infrastructure	Tower 10	Accommodation	Superstructure
	Power 220V AC	Communications	
Micrometeorology	List	Instrument (Model)	Height (m)
	Downward shortwave radiation	n/a	n/a
	Upward shortwave radiation	n/a	n/a
	Downward long-wave radiation	n/a	n/a
	Upward long-wave radiation	n/a	n/a
	Net radiation	n/a	n/a
	Albedo	n/a	n/a
	Solar radiation	MS-802(EKO)	2
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)	9.3
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)	9.3
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)	9.3
	Air temperature/Relative Humidity	Temperature/Humidity sensor (HMP45C)	2
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)	9.3
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)	9.3
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (TC, CSAT3)	9.3
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)	9.3
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)	9.3
	Soil heat flux	n/a	n/a
	Soil temperature	n/a	n/a
	Soil moisture	n/a	n/a
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)	9.3
	Precipitation	n/a	n/a
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.	
	Data loggers	CR-5000, PC	
Other measurements			

*Instrument height is the distance from the roof deck of the superstructure at Ieodo.

Tak Tropical Deciduous Forest			
Location	Location Chaophraya River Basin, Thailand		
	Coordinates/Elevation/Slope 16°56'N; 99°25'E / - / flat		
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)		
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea		
Vegetation character	Canopy height	20-25 m	Soil Type n/a
	Dominant species	<i>Tectona, Shorea, and Dipterocarpus</i>	Fetch > 10 km
	Leaf Area Index	4.0	Age 10~ 20 years
Observational period	Measured period	2003	
Infrastructure	Tower	n/a	Accommodation n/a
	Power	n/a	Communications n/a
Micrometeorology	List	Instrument (Model)	Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Albedo	Radiometer (CNR-1)	30, 1000
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)	30, 1000
		3-D sonic anemometer (Solent)	10, 60
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)	30, 1000
		3-D sonic anemometer (Solent)	10, 60
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)	30, 1000
		3-D sonic anemometer (Solent)	10, 60
	Air temperature/Relative Humidity	Temperature/Humidity sensor (HMP45C)	10, 45, 80
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)	30, 1000
		3-D sonic anemometer (Solent)	10, 60
	Latent heat flux	IRGA (LI-7500)	30, 1000
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)	30, 1000
		3-D sonic anemometer (Solent)	10, 60
	Carbon flux	IRGA (LI-7500)	30, 1000
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)	30, 1000
	Soil heat flux	Soil heat flux plates (HFT3)	n/a
	Soil temperature	n/a	n/a
	Soil moisture	n/a	n/a
	Carbon and Water concentrations	IRGA (LI-7500)	30, 1000
	Precipitation	n/a	n/a
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.	
	Data loggers	CR-23X, CR-5000	
Other measurements			

Tibet Shortgrass Prairie				
Location	Location Naqu, Tibet, China			
	Coordinates/Elevation/Slope 92°04'N; 31°29"E / 4580 m / flat			
Principal Investigators	Joon Kim (joon-kim@yonsei.ac.kr)			
Address	Dept. of Atmospheric Science, Yonsei University 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea			
Vegetation character	Canopy height	0.05 m	Soil Type	n/a
	Dominant species	Short grass	Fetch	>1 km
	Leaf Area Index	< 0.5	Age	-
Observational period	Measured period May 1998–Sep. 1998			
Infrastructure	Tower	3 m	Accommodation	-
	Power	Solar panel	Communications	-
Micrometeorology	List	Instrument (Model)		Height (m)
	Downward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Upward shortwave radiation	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Downward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Upward long-wave radiation	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Net radiation	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Albedo	Radiometer (CNR-1)		1.5
	Wind speed	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2.85
	Wind direction	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2.85
	Air temperature	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2.85
	Air temperature/Relative Humidity	Temperature/Humidity sensor (HMP45C)		n/a
	Friction velocity	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2.85
	Latent heat flux	Krypton Hygrometer (KH20)		2.85
	Sensible heat flux	3-D sonic anemometer (CSAT3)		2.85
	Carbon flux	n/a		n/a
	Atmospheric Pressure	IRGA (LI-7500)		n/a
	Soil heat flux	Soil het flux plates (HFT3)		0.05
	Soil temperature	Thermocouple (TCAV)		0-0.1
	Soil moisture	CS615		0-0.1
	Carbon and Water concentrations	Krypton Hygrometer (KH20) (water only)		2.85
	Precipitation	n/a		n/a
Data Acquisition	Sampling frequency/Averaging time	10 Hz/30 min.		
	Data loggers	CR9000, PC		
Other measurements				