

벼 단작지에서 생물학적, 에디공분산 및 챔버방식에 의한 순 생태계 CO₂ 교환량의 측정

민성현^{1,2*}, 심교문¹, 김용석¹, 정명표¹, 최인태¹, 이재석²

¹국립농업과학원 기후변화생태과, ²건국대학교 생명과학과

Biometric, Eddy Covariance, and Chamber based Estimates of Annual Net Ecosystem Exchange of CO₂ in Rice Mono Paddies

S. H. Min^{1,2*}, K. M. Shim¹, Y. S. Kim¹, Y. S. Kim¹, M. P. Jeong¹, I. N. Choi¹,
J. S. Lee²

¹Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science

²Department of Biological sciences, Konkuk University

I. 서 언

농업생태계에서 CO₂, CH₄ 및 NO₂는 주요 온실가스이며, 이중 CO₂는 수증기와 더불어 지구온난화에 큰 영향을 미치는 요인으로, 농경지의 CO₂ 플럭스 수지 평가는 지역적 혹은 전지구적 탄소 수지 평가에 필요할 뿐만 아니라, 미래의 기후변화에 대한 예측에 도움이 될 수 있다.

농업생태계의 CO₂ 수지 정량화 방법은 크게 3가지 방법이 있는데, 식물체와 토양의 탄소함량을 분석하는 생물학적 방법이 이며, 일정한 부피를 가지는 폐쇄형 챔버를 이용하여 일정시간대 챔버내의 CO₂ 농도를 측정하여 CO₂ 수지를 정량화하는 챔버 방법, 마지막으로 고속 반응 CO₂ 분석기와 3차원 풍속기를 이용하여 난류에 수송되는 CO₂ 및 에너지 수지를 정량화하는 에디공분산 방법 있다. 이중에 에디공분산 방법은 생물학적 및 챔버 방법보다는 관측 환경을 파괴하지 않으면서, 장기간적으로 넓은 지역의 CO₂ 수지를 평가할 수 있으므로 가장 널리 사용되고 있으나, 난류가 약한 야간시간대의 CO₂ 수지 등의 불확실성이 존재하므로 농업생태계의 정확한 CO₂ 수지를 정량화하기 위해서는 챔버 방식 및 생물학적 방식을 병행하여 관측하는 것을 권장하고 있다. 따라서 본 연구에서는 전북 김제 벼 단작의 논 생태계의 순생태교환량을 에디공분산 및 챔버 방식으로 측정하고, 토양호흡 및 타가호흡을 챔버 방식으로 측정하였으며, 또한 각 시기별 식물의 탄소 함량을 조사하여 농업생태계의 순생태교환량을 비교 분석하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

* Correspondence to : kmshim@korea.kr

2.1. 연구지역

전라북도 김제시 부량면 신용리에 위치한 벼 단작지의 논 생태계로 토양통은 물 빠짐이 좋은 미사질양토로 지형은 평평하고 균질하다. 2012년에 에디공분산과 챔버 방식의 플럭스 관측시스템을 구축하였다.

2.2. 미기상학적 방식의 플럭스 측정 및 보정

대기 중의 CO_2 와 H_2O 는 개방형 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 적외선 가스분석기[LI-7500(벼-보리 이모작), EC-150(벼 단작)]로, 대기 중의 풍속과 온도는 3차원 초음파 풍속계(CSAT3)로 초당 10회(10Hz)씩 측정하였고, 이들 데이터(풍속, 바람에 수송된 대기 중의 CO_2 농도· H_2O 농도·온도)의 30분 평균에 대한 편차를 공분산하여 30분 평균 물리량 플럭스를 계산하였다.

10Hz의 물리량 플럭스 원본자료와 30분 플럭스 평균자료는 자료 집록기에 저장되며, CDMA 통신 모뎀을 이용하여 30분 평균자료를 실시간으로 수집했다. 또한 2주 간격으로 10Hz 플럭스 원본자료를 수집하였다.

미기상학적 에디공분산법으로 측정 및 계산된 30분 평균 플럭스자료는 Koflux의 표준화 프로그램에 따라 평면 맞추기 회전(PFR; planar fit rotation), 밀도변동 보정, 튀는 자료 제거과정을 수행하였다.

2.3. 챔버 방식의 플럭스 관측시스템

위 시스템과 동일 장소에 챔버 방식의 순생태교환량(NEE)과 토양호흡량(SR)을 자동으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 순생태계교환량 자동측정시스템은 4개 챔버로 구성되어 있고, 토양호흡량 자동측정시스템은 6개 챔버로 구성되어 있다. 토양호흡량 자동측정시스템의 3개의 챔버는 토양호흡을 측정하며, 3개의 챔버는 타가호흡을 측정하였다. 가스샘플은 가스분석기(IRGA)를 이용하여 챔버내의 CO_2 농도 측정하고, 일정시간동안 챔버내의 CO_2 농도의 기울기를 산출하여 CO_2 플럭스를 정량화하였다. 동시간대에 지온, 토양수분 센서를 설치하여 지온(0, 2, 5, 10, 20, 30cm), 챔버안의 기온 및 수온(5cm), 토양수분(0-10cm, 0-30cm)을 동시에 측정하였다.

2.4. 벼/보리 생육조사 및 엽면적 지수 측정

2주 간격으로 벼의 엽면적 지수 및 생육상황(초장, 분얼수, 생체중, 건물중)을 조사하였고, 생육 시기별 작물(벼 혹은 보리)의 탄소/질소 함량을 원소분석기(Vario MAX CN, US)를 이용하여 측정하였다. 생육조사는 이삭, 잎, 줄기, 뿌리 부위로 나누어 생체중과 건물중, 그리고 탄소/질소 함량을 조사하였어 각 시기별 벼의 건물중에 대한 탄소 함량을 정량화하였다.

2.5. CO_2 플럭스 정량화 방법에 따른 불확신성 분석

2013년 벼 단작지의 순생태 교환량(NEE = -NEP)을 에디공분산 과 챔버 방법을 통하여 측정 및 비교분석하였으며, 시기별로 누적된 순생태 생산량(NEP)을 동기간동의 벼 작물의 탄소함량 과 누적된 타가호흡(HR)의 합과 비교분석하였다.

$$NEP(=-NEE) = NPP + HR$$

III. 결 과

벼 단작 체계의 논 생태계에서 벼 작물의 재배기간 동안 에디공분산과 챔버방법으로 측정된 순일차 교환량 (NEE)의 일별 변화는 <Fig. 1>과 같으며, 누적된 값의 변화는 <Fig. 2>와 같다. 2013년 벼 단작지에서 측정된 연간 순일차 교환량은 에디공분산으로 측정하였을 때는 $-398.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이고 챔버방식으로 측정하였을 때는 $-685.1 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로, 챔버방식으로 측정된 순일차 교환량이 에디공분산 방식보다 단위면적당(m^2) 286.6g의 탄소가 논 생태계로 더 흡수된 것으로 나타났다. 휴경 기간 동안 측정방식에 따른 순일차 교환량은 $197.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (에디공분산), $32.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (챔버방식) 이고, 벼 재배 기간동안에 순일차 교환량은 $-596 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (에디공분산), $-726 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (챔버방식)로 측정되어, 휴경기간동안 농경지는 챔버 방법으로 측정하였을 때보다 에디공분산으로 측정할 때가 더 높은 탄소를 배출한 것으로 나타났고, 벼 재배기간 동안 농경지는 에디공분산 방법보다 챔버 방법으로 측정할 때가 더 높은 탄소를 흡수한 것으로 나타났다. 벼 재배 기간동안 에디공분산 방법과 챔버방법으로 측정된 순생태 교환량을 비교분석 하였을 때, 유의성 높은 선형관계를 나타냈으며(Fig.3), 2주 간격마다 측정된 벼 작물의 탄소 함량과 동기간동안 누적된 타가호흡(Heterotrophic respiration)의 합에 대한 서로 다른 측정 방식 (에디공분산, 챔버방법)의 순생태 생산량($NEP = -NEE$) 역시 유의성 높은 선형관계를 나타냈다 (Fig.4).

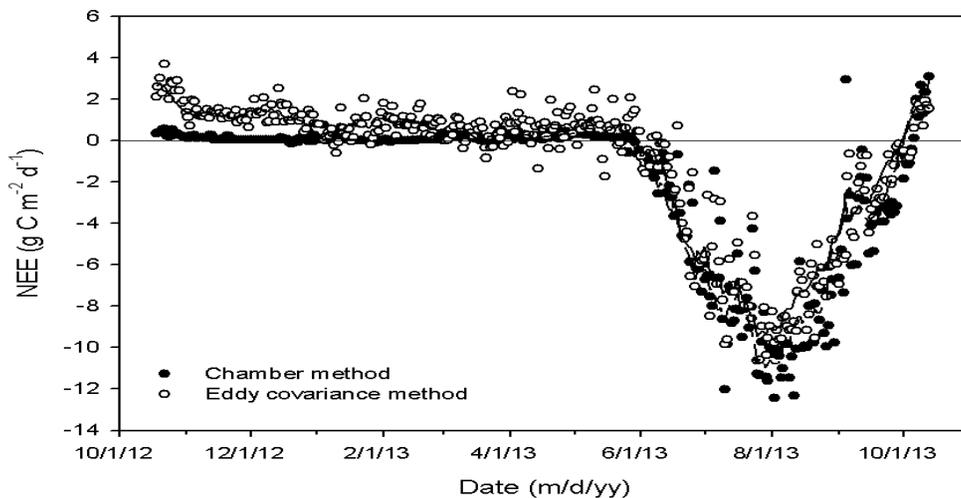


Fig. 1. 벼 단작체계의 논 생태계에서 측정방법에 따른 CO₂ 플럭스의 일변화

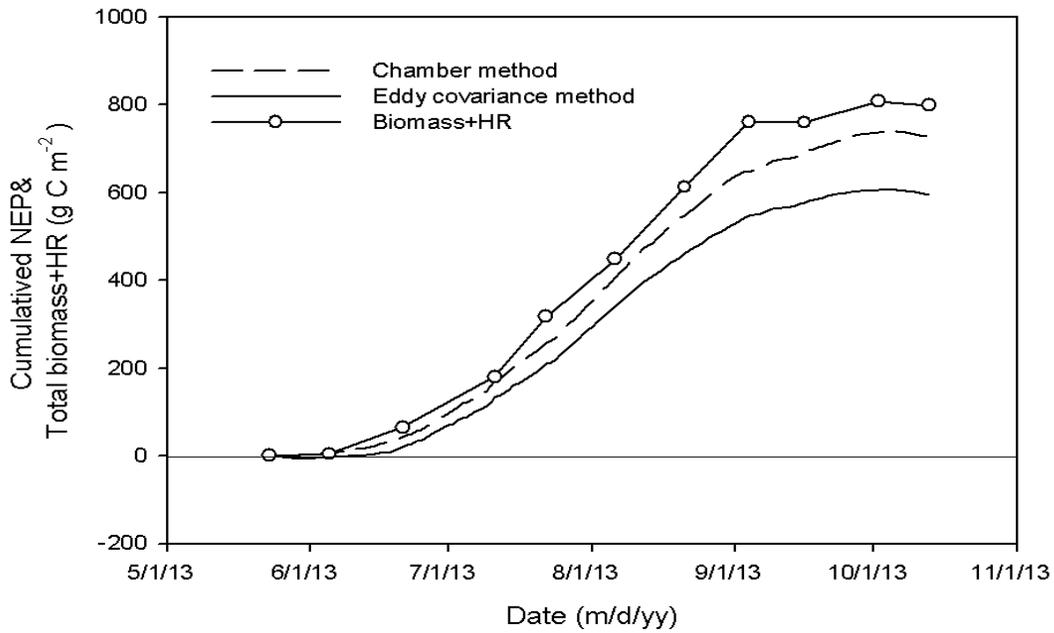


Fig. 2. 벼 단작체계의 논 생태계에서 측정방법에 따른 누적된 CO₂ 플럭스의 변화

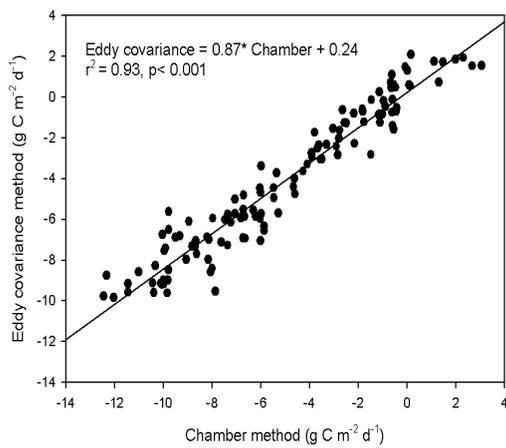


Fig. 3. 에디공분산과 챔버방식의 비교분석

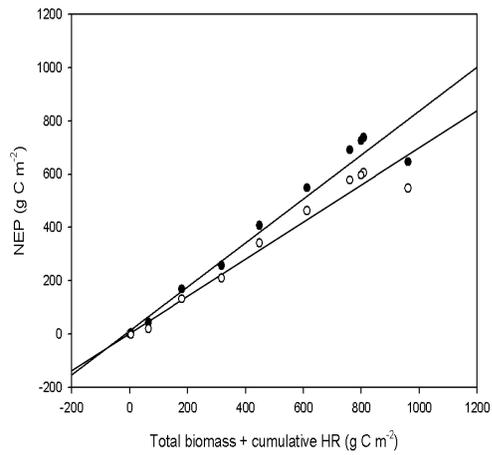


Fig. 4. 정량화 방법에 따른 NEP의 비교분석

사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호 : PJ90722802)의 지원에 의해 이루어진 것임

인용문헌

- Min. S. H., K. M. Shim, Y. S. Kim, H. Hwang, M. P. Jung, and I. T. Choi, 2014: Seasonal variation of CO₂ exchange during the barley growing season at a rice-barley double cropping paddy field in Gimje, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**, 137-145.
- Wilma. W. P. Jans, C. M. J. Jacobs, K. Bart, J. A. Elbers, S. Barendse, and E. J. Moors, 2010: Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crop: Influence of phenology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **139**, 316-324.