광릉 장기생태조사지 토양호흡 연속 측정

권순관[1], 이재호[1], 천정화[2], 임종환[2], 이재석[1*]
[1]건국대학교 생명과학과, [2]국립산림과학원 산림생태과

Continuous Measurement of Soil Respiration in Long Term Ecological Monitoring Site on Gwangneung

S. G. Keon[1], J. H. Lee[1], J. W. Cheon[2], J. W. Lim[2], and J. S. Lee[1*]
[1]*Department of Biological sciences, Konkuk university, Korea*
[2]*Korean Forest Science Institute, Korea*
(Correspondence: jaeseok@konkuk.ac.kr)

1. 서 론

생태계의 다양한 기능 중 물질순환과 에너지 흐름의 기능은 가장 중요한 기능이며, 기후변화는 생태계의 기능을 근본적으로 변화시킨다. 특히, 지구기후변화의 가장 큰 원인물질인 탄소의 대기, 식생, 토양으로의 순환은 다양한 자연 종 뿐 아니라 인간의 생존과도 직결되는 문제이다. 토양권은 지구대기 탄소의 약 3배에 이르는 많은 양을 저장하고 있으며, 한반도 식생에서도 산림의 토양 탄소는 식생과 거의 같은 양 또는 그 이상이 축적되어 있다. 토양은 리터의 축적, 분해, 뿌리호흡을 포함하는 토양호흡을 통해 많은 양의 탄소를 저장하고 방출할 수 있다 (Raich & Schlesinger, 1992). 일반적으로 토양호흡과 자가 영양체호흡(autotrophic respiration)에 의해 토양에서 대기 중으로 방출되는 탄소량은 산림이 갖는 총1차생산량(GPP; gross primary production)의 60-80% 정도로 간주되고 있다 (Goulden *et al.* 1997; Law *et al.* 2001). 토양호흡에 의한 탄소방출은 생태계 순생산량의 크기를 조절하는 큰 요인이며 이러한 토양호흡에 의해 다양한 산림의 생태계 순생산량의 변이가 보고되고 있다. 최근 이로부터 과학자들과 입법자들은 토양탄소의 순환과 관련된 토양호흡에 보다 더 많은 관심을 갖게 되었다. 또한, 토양의 이용형태 전환을 통해 토양에 유기물 형태로 축적된 탄소양의 증대시킴으로써 인간에 의한 화석연소 방출분을 만회하기 위한 가능성에 대한 연구도 조용히 제기되고 있다(Drewitt *et al.* 2002). 이로부터 토양호흡에 관한 시간적 변화를 포함한, 일변화, 계절변화와 같은 자료는 어떤 생태계의 탄소순환을 예측하는데 대단히 중요한 자료가 된다. 또한, 토양호흡이 식물계절과 같은 생태적인 요인과 온도 또는 토양수분요인과 같은 또 다른 환경요인들과 환경요인들의 변

화와 어떻게 관련되어 있는지의 파악은 대단히 중요한 과제이다.

2. 재료 및 방법

산림과학원에서 운영하고 있는 광릉 장기생태조사지는 KoFlux Network에서 2002년 설정한 활엽수 대표 사이트인 DK-site (Deciduous site of KoFlux) 로, 경기도 포천시 소흘읍 직동리 소재 국립산림과학원 중부임업시험장 광릉시험림 내 소리봉(533.1m) 인근의 낙엽활엽수림(37° 45′ 25.37″ N, 127 ° 09′ 11.62″ S, 고도 340m)에 위치한다. 1998년부터 광릉 장기생태연구조사구(Korean Long Term Ecological Research; KLTR)로 등록되어 있으며, 인위적 교란과 출입이 제한되어 철저하게 보호되고 있는 천연낙엽활엽수림으로 참나무류, 서어나무, 까치박달 등으로 이루어진 우리나라 대표적인 중부 온대림으로, 임목 밀도는 1,473 trees ha-1이다. 우점종은 졸참나무(Quercus serrata)가 기저면적(barsal area)의 51%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 서어나무(Carpinus laxiflora)가 23%, 까치박달(Carpinus cordata)이 7.8%의 순으로 나타났다(Lim *et al.* 2003). 우점종을 제외한 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층의 경우, 교목층은 졸참나무, 서어나무이외에 고로쇠나무 등 6종이, 또한 아교목층은 생각나무, 때죽나무 등 3종, 관목층은 덜꿩나무, 개옻나무 등 8종, 초본층은 단풍취, 애기나리 등 20여 생육하고 있는 것으로 조사되었다. 토양호흡은 연구실에서 자체개발 제작한 AOCC (Automatic open/ closing chamber system, Suh *et al.,* 2006)를 이용하여 측정하였다.

Fig. 1. 토양호흡측정용 챔버

AOCC 시스템은 chamber부, 펌프부, 타이머부의 3개 주요 부분으로 구성되어 있으며, 펌프부는 공기펌프, 유량계, 공기필터, 제습기, IRGA (InfraRed Gas Analyzer)로 구성된다.

타이머부는 chamber의 뚜껑의 개폐와 전자밸브의 개폐, IRGA (LI-820, Campbell Scientific Inc. USA) 로부터의 데이터를 데이터로거에 연결된 각각의 단자에 분배하고, 타이머부는 chamber 뚜껑이 열리고 닫히는 시간을 조절하는 타이머와 chamber의 모터에 전원을 순차적으로 공급하는 릴레이로 구성되어 있다. Chamber의 크기는 chamber 설치 시 쳄버 내에 작은 식물체가 들어가 광합성 및 호흡으로 인해 토양호흡이 과소 또는 과대평가되지 않도록 고려되어 있다. 또한 chamber의 높이는 chamber가 개방되어 있을 때 내부와 외부에 공기가 잘 순환될 수 있도록 최대한 낮도록 설계하였다. Chamber의 무게는 약 3kg 이며, 내부에 공기 순환 정체부가 발생하지 않도록 긴 8각형(20×30×8cm, L×W×H)으로 설계되었고, 야외의 습한 조건에서 내구성을 가질 수 있도록 스텐레스 금속재질로 구성되었다(Fig. 1). Chamber로의 공기유입과 배출을 위한 튜브는 직류전기에 의해 구동되는 전자밸브에 연결되어 있고, 이들 밸브는 타이머부로부터의 신호에 의해 펌프로부터 공기를 순차적으로 각각의 chamber에 보내면 동시에 IRGA로 되돌려 보낸다. 검출된 CO_2 값은 매 30초의 데이터를 평균하여 2분마다 데이터로거(CR10X, Campbell Scientific Inc. USA)에 기록한다.

3. 결 과

2004년부터 2010년까지 토양호흡의 비슷한 수준을 유지하나 2012년 및 2013년에 급격히 낮아지는 현상을 보였으며, 동일 기간 지온은 유사한 경향을 보였으나, (Fig. 2) 강수 패턴의 변화로 하계의 토양수분함량이 매우 낮은 상태를 보였고, 6개 쳄버 중 (토양호흡량 높은 2개 쳄버가 미생물호흡용으로 전환되어 낮은 토양호흡 결과를 가져왔으며, 연간 토양호흡을 통해 방출된 탄소량은 2004～2010년 사이 6.6～9.9 tC/ha/yr, 2012년은 4.4 tC/ha/yr로 가장 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 3). 토양호흡량은 지온의 변화와 매우 높은 상관관계를 가지나 동일한 지온이라 하

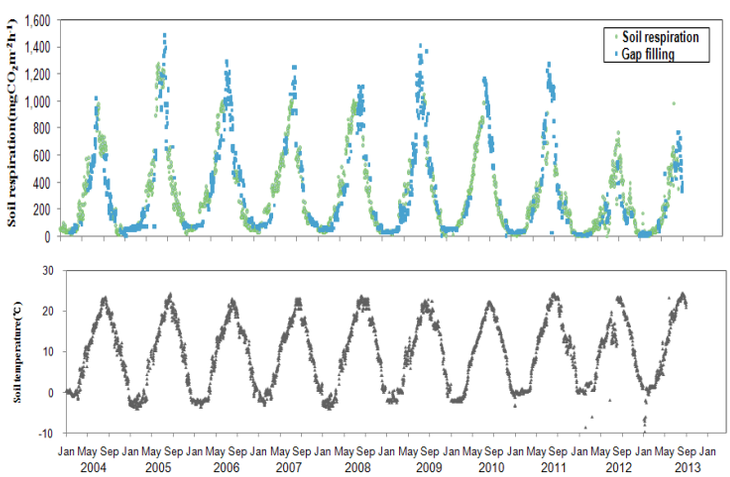

Fig. 2. 광릉장기생태지의 장기간의 토양호흡 추이

더라도 계절적으로 다른 반응성을 보였으며, 또한 지온이 높은 하계의 경우 동일한 지온대에서 토양호흡 변이 폭은 매우 크게 증가하였다.

토양호흡 활성기인 하계 6~9월의 토양수분함량이 강수기간의 하계의 토양수분함량은 연간 토양호흡 총량에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 2004년~2010년까지 유사한 수준의 토양호흡량과 하계 높은 토양수분함량을 보였다(Fig. 4). 2012년 및 2013년의 하계 토양수분함량은 매우 낮은 상태를 유지하였고 동 기간 토양호흡량도 타 해에 비해 매우 낮게 측정되었다. 하계 6~9월의 토양호흡량과 토양수분의 상관분석에서 토양수분함량은 토양호흡 속도에 높은 상관성을 보였다(Fig. 5).

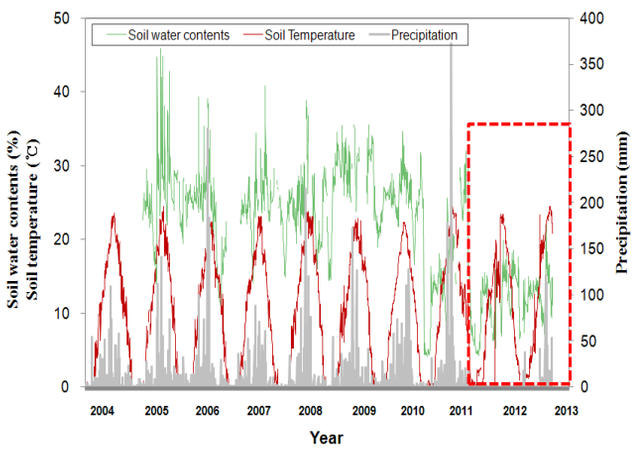

Fig. 4. 광릉장기생태지의 장기간의 지온, 강수량, 토양수분 변화

장기간의 토양호흡 측정에서 2004년부터 2010년까지 토양호흡은 지온의 계절적 변화에 따라 증가 감소를 반복하는 통상적인 변화 형태를 나타냈으나, 집중 강우기와 갈수기가 극명하게 나타났던 2012년 및 2013년의 2개년도에는 하계(6~9월)의 토양수분함량은 매우 낮은 수준을 유지하였고 토양호흡속도 또한 매우 낮은 상태가 지속되었으며, 이를 통해 전체적인 지온의 계절적 변화에 바탕을 둔 토양호흡의 계절적 변이와 더불어 토양호흡 활성기의 적절한 토양수분함량 유지는 높은 수준의 토양호흡속도를 유발하는 중요한 요인으로 밝혀져다(Fig. 5).

기후변화에 의해 생태계의 활성기에 있어 단기간의 집중호우와 극단건조가 심화되는 강수패턴의 변화가 토양호흡량의 증감에 매우 크게 영향을 줄 수 있다는 가능성이 나타난 바 기후변화에 따른 토양호흡의 변화 추이의 지속적인 모니텅링이 요구된다.

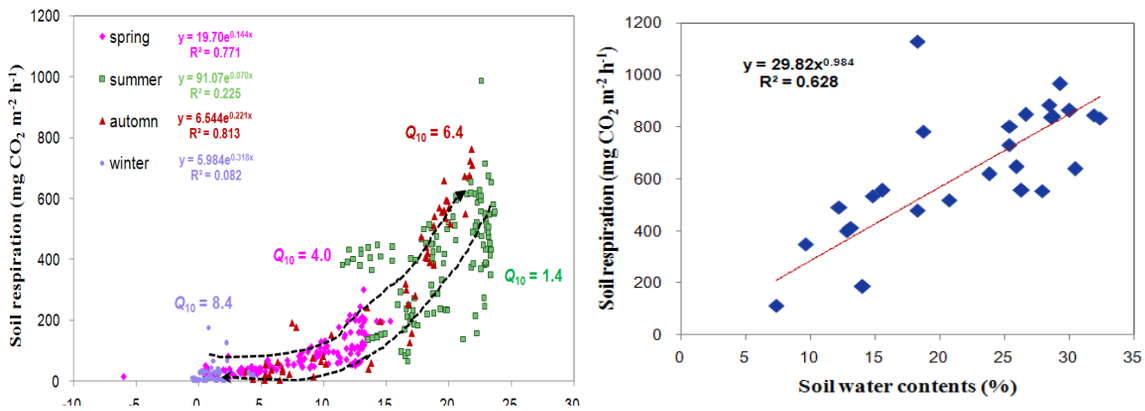

Fig. 5. 광릉장기생태지의 토양호흡과 지온 및 토양수분과의 관계

인용문헌

Drewitt, G. B., T. A. Black, Z. Nesic, E. R. Humphreys, E. M. Jork, R. Swanson, G. J. Ethier, T. Griffis and K. Morgenstern, 2002: Measuring forest floor CO_2 fluxes in a Douglas-fir forest. *Agricultural & Forest Meteorology* **110**, 299-317.

Goulden, M. L., and P. M. Crill, 1997: Automated measurements of CO_2 exchange at the moss surface of a black spruce forest. *Tree Physiology* **17**, 537-542.

Law, B. E., F. M. Kellher, D. D. Baldocchi, P. M. Anthoni, J. Irvine, D. Moored, and Van tuyl. S, 2001: Spatial and temporal variation in respiration in a young ponderosa pine forest during a summer drought. *Agricultural & Forest Meteorology* **110**, 27-43.

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

Raich, J. W., and W. H. Schlesinger, 1992: The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* **44**, 81-99.

Suh, S. U., Y. M. Chun, N. Y. Chae, J. Kim, J. H. Lim, M. Yokozawa, M. S. Lee, and J. S. Lee, 2006: A chamber system with automatic opening and closing for continuously measuring soil respiration based on an open-flow dynamic method. *Ecological research* **21**, 405-414.