

미기후에 따른 토양 CO₂ 유출변화와 장래 지구온난화의 시사점¹⁾

Changes of Soil CO₂ Efflux by Microclimate and Implication of Future Global Warming

조현길² · 안태원³

²강원대학교 산림경영 · 조경학부 · ³강원대학교 대학원 조경학과

I. 연구목적

토양의 CO₂ 발생원은 식물의 근계호흡과 미생물에 의한 유기물의 분해이며, 이에 따른 CO₂ 유출량의 변화는 온도, 수분, 토성, 식물종 등 여러 변수의 상호작용과 유관한 것으로 보고된다(Witkamp, 1966; Kucera and Kirkham, 1971; 손요환과 김현우, 1996; Kang *et al.*, 2003). 본 연구는 산림유전자원 보호림인 점봉산의 자연생태계를 대상으로 사면별 토양 CO₂ 유출 및 관련 환경인자를 측정하고, 환경인자가 토양의 CO₂ 유출변화에 미치는 영향과 상관관계를 분석하였다.

II. 연구방법

점봉산 우점종 군집 내 해발 800~850m 지점에 사면방위가 상이한 남사면과 북서사면에 영구조사구(15m×15m)를 설정하고, 조사구별 5개의 CO₂ 유출량 측정지점을 선정하였다. 운반형 적외선가스분석기(LI-COR LI-6400, Nebraska)를 이용하여 2003년 10월부터 2004년 8월까지 총 11회에 걸쳐(겨울철 제외), 하루 중 11:00~13:00 사이에 지점별 3반복으로 토양 CO₂ 유출량을 측정하였다. 아울러 CO₂ 유출에 영향하는 관련 환경인자를 동시에 측정하고 CO₂ 유출과의 상관성을 분석하였다. 즉, 토양온도계(Hanna HI9063, Portugal)와 토양수분측정기(Campbell Scientific HydroSense, Australia)를 이용하여, 챔버 삽입지점 가까이에서 10cm 깊이의 토양온도 및 수분함량을 동시에 측정하였다. 또한, 휴대용 자기온습도계(HOBO H08-032-02, Massachusetts)로 지상 1.5m 높이에서 대기온도와 습도를 측정하였다. 계절별로 각 측정지점 인근에서 10cm 부위의 토양을 채

1) 이 논문은 2003년도 환경부 지원 연구비에 의한 장기생태연구 시범사업 결과의 일부임.

취하여 농촌진흥청(1988)의 토양분석방법에 따라 토양의 물리화학적 특성을 분석하였다.

III. 연구결과

1. 조사구 환경

조사구의 경사는 남사면이 27°, 북서사면이 33°이었다. 교목(흉고직경 2cm 이상)의 밀도는 각각 18주/100m², 15주/100m²이었으며, 상층수관은 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 사면에 따라 피도 56~87%를 보이며 우점하였고, 하층에는 조릿대(*Sasa borealis*)가 피도 60~80%로 분포하였다. 토양의 물리화학적 특성은 사면간 유의한 차이없이 유사하였고($P>0.05$) 토성은 사양토 내지 사토이었다. 계절별로는 여름철에 유기물함량이 타 계절에 비해 2.3~2.8배, 총질소가 약 2배 각각 높았다. 조사기간 중 기온은 11월에 가장 낮았고 7월에 남사면 25.0°C, 북서사면 24.7°C로 가장 높았다. 3계절 평균 기온은 남사면에서 16.1°C로 북서사면의 14.9°C보다 1.2°C 더 높았는데($P<0.05$), 봄철 및 여름철의 경우 사면간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($P>0.05$).

토양온도는 3월에 가장 낮았고 봄철과 여름철에 증가경향을 보여 가장 높은 7~8월에 20.1~20.4°C이었다. 3계절 평균 토양온도는 남사면에서 11.7°C로 북서사면의 10.0°C보다 1.7°C 더 높았다($P<0.01$). 계절별로는 봄철에 사면간 온도차가 2.5°C로 더욱 컸는데, 늦봄부터 그 차이가 감소하여 여름철엔 0.3°C 미만이었다. 토양수분은 사면 및 계절에 따라 19~23%(v/v)이었고 사면 및 계절간 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

2. 토양 CO₂ 유출 및 환경인자와의 상관관계

토양 CO₂ 유출량은 토양온도가 가장 낮았던 3월에 남사면에서 0.63umol/m²/s, 북서사면에서 0.21umol/m²/s로 가장 적었고, 봄철과 여름철에 증가경향을 보여 8월초에 남사면에서 9.28umol/m²/s, 북서사면에서 9.06umol/m²/s로 가장 많았다. 3계절 평균 토양 CO₂ 유출량은 토양온도, 기온, 입사광량이 상대적으로 높았던 남사면에서 3.80umol/m²/s로 북서사면의 3.01umol/m²/s보다 1.3배 많았으며($P<0.01$), 계절별로는 봄철과 여름철보다 가을철에 사면간 차이가 더욱 컸다.

토양 CO₂ 유출량과 환경인자간 상관관계를 분석한 결과, 토양온도 및 기온이 높을수록 CO₂ 유출량이 많았으며($P < 0.01$), 비선형적으로 증가하는 뚜렷한 경향을 나타냈다. 토양수분의 경우는 유의한 상관관계가 없었다($P > 0.2$). 한편, 기온이 상승함에 따라 토양온도도 높아지는 정상관관계를 나타냈다($r^2 = 0.72 \sim 0.84$). 토양온도, 기온 등을 독립변수로, 토양 CO₂ 유출량을 종속변수로 사면별 토양 CO₂ 유출량을 추정하는 회귀식을 유도하면 표 1과 같다. 토양온도로부터 토양 CO₂ 유출량을 추정하는 회귀식의 r^2 는 0.91~0.94로 설명력이 높았다. 기온을 독립변수로 유도한 회귀식은 토양온도의 경우보다는 설명력이 낮았다. 이와 같이 온도가 토양 CO₂ 유출에 영향을 미치는 주요한 환경인자이었고, 그들 간 높은 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

표 1. 사면별 토양 CO₂ 유출량 추정 회귀식*

사면	회귀식	r^2	Q_{10}	사면	회귀식	r^2	Q_{10}
남사면	$Y = 0.5402e^{0.1412X_1}$	0.91	4.1	북서사면	$Y = 0.3277e^{0.1679X_1}$	0.94	5.4
	$Y = 0.4544e^{0.1126X_2}$	0.68	3.1		$Y = 0.2056e^{0.1423X_2}$	0.69	4.1

* Y: 토양 CO₂ 유출량($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), X_1 : 토양온도($^{\circ}\text{C}$), X_2 : 기온($^{\circ}\text{C}$), Q_{10} : $e^{10 \times \beta}$

IV. 결론

본 연구는 점봉산 신갈나무림 내 남사면과 북서사면에서 토양 CO₂ 유출 및 관련 환경인자를 측정하여, 환경인자가 토양 CO₂ 유출변화에 미치는 영향을 분석하고 토양 CO₂ 유출량을 추정하는 회귀식을 유도하였다. 온도는 토양 CO₂ 유출에 영향을 미치는 주요한 환경인자이었다. 지구 전체 육상생태계의 탄소저장량은 산출방법의 차이에 따라 식생 420~830Gt, 토양 1,200~1,600Gt로서 대기에 존재하는 탄소량의 약 3배에 달하며(Post *et al.*, 1990; Schneider, 1990), 토양은 육상생태계에서 가장 큰 역할을 담당하는 탄소저장고(carbon sink)이다. 그러나, 장래 지구온난화는 본 연구결과에서 보듯이 토양의 CO₂ 유출을 증가시킬 수 있으며, 현재 탄소저장고인 토양이 대기 CO₂ 농도를 더욱 증가시키는 탄소배출원(carbon source)으로 작용하면서, 그에 따른 악영향을 가중시키는 악순환을 초래할 수 있음을 시사한다.

인용문헌

농촌진흥청(1988) 토양화학분석법.

손요환, 김현우(1996) 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지내 토양발생 이산화탄소에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 496-505.

Kang, S.K., S.Y. Doh, D.S. Lee, D.W. Lee, V.L. Jin, and J.S. Kimballs(2003) Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology* 9: 1-11.

Kucera, C.L. and D.R. Kirkham(1971) Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology* 52(5): 912-915.

Post, W.M., T.H. Peng, W.R. Emanuel, A.W. King, V.H. Dale, and D.L. DeAngelis(1990) The global carbon cycle. *American Scientist* 78: 310-326.

Schneider, S.H.(1990) The changing climate. In *Managing Planet Earth*. New York: W.H. Freeman and Company. pp. 25-36.

Witkamp, M.(1966) Rates of carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* 47(3): 492-494.