

수분 및 온도의 변화에 따른 산림 토양의 잠재 토양 호흡

이 은 혜 · 이 재 석

건국대학교 이과대학 생명과학과

Potential Soil Respiration in Forest Soil according to Soil Temperature and Soil Moisture Change

LEE, Eunhye · Jaeseok LEE

Department of Biological Sciences, Konkuk University

ABSTRACT

Soil respiration in forests represents about 70% of total ecosystem respiration. Soil respiration rate was affected soil temperature and soil water content. Our objective of this study is to understand how temperature and moisture condition affects on the soil respiration in different mature stage and forest type, measured soil respiration (SR) on various temperature and moisture conditions. Soils were collected deciduous and coniferous in different development stage at in Korea. Soil respiration was calculated by closed method in growth chamber. In general, soil respiration were strongly affected to increasing soil temperature compared with soil moisture content. Over all, deciduous forest soil showed higher SR than the coniferous forest soil. Also, mature forest soil represented higher SR than the immature forest soil. This study suggests that global warming can alter soil in mature deciduous forest from sink to source than in immature coniferous forest.

Key words : coniferous forest, deciduous forest, soil moisture, soil respiration, soil temperature

서 론

산업혁명 이후 화석 연료의 사용, 산림의 파괴, 토지 이용 형태의 변화 등 인간의 활동으로 인해 지구 온난화를 유발하는 온실기체의 농도는 지속적으로 증가하고 있다. 이들 온실기체 중 CO₂는 지구 온난화에 가장 많은 영향을 미치고 있으며, 지난 100 여 년 동안 해수면의 온도와 대기의 온도는 온실기체 농도의 증가로 인해 0.3~0.6℃ 정도 상승하였다(IPCC, 1995). 최근 15년간의 대기 CO₂ 농도 증가 속도는 약 0.5% yr⁻¹에 달한다(IPCC, 2001). 현재의 CO₂ 농도는 산업혁명 이전보다 25% 가량 더 높은 것이며, 현재의 증가 속도가 계속된다면 2030년까지 대기의 CO₂ 농도는 1800년대의 두 배 이상의 수준에 도달하고, 그때 기온은 2.5℃ 증가될 것으로 예상하고 있다. CO₂를 포함한 온실기체 농도

의 급격한 변화는 지구 복사 에너지의 균형을 파괴하여 기후 변화를 야기시켜 사막화, 해수면의 상승, 이상 고온으로 인한 농작물 피해 등 인간의 생존에 심각한 영향을 주고, 인간이 관리하는 생태계에 심각한 혼란을 가져올 것으로 예견된다.

이러한 온실기체 농도의 증가로 인한 기상 이변의 발생을 방지하기 위해 1992년 UN은 기후 변화 협약(UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change)을 채택하였고, 지구 온난화를 감시하기 위하여 전 지구적으로 지속적인 관측과 연구가 진행되고 있다. CO₂를 포함한 온실기체의 배출을 억제하여 기후 변화를 막기 위한 국제사회의 노력은 2005년 2월 16일, 교토의정서를 통하여 공식 발효되었다. 교토의정서를 통해 선진국을 중심으로 의무적인 CO₂ 감축을 협의하여 각국은 적극적인 흡수원 발굴 연구에 박차를 가하게 되었다.

교토의정서는 의무 감축과 더불어 선진국이 다른 선진국에 투자하여 발생된 온실가스 감축량의 일정분을 투자국의 배출 저감 실적으로 인정하는 공동이행제도(Joint Implementation)와 선진국이 개발도상국에 투자하여 발생한 온실가스 감축량을 선진국의 감축량으로 인정하는 청정개발제(Clean Development Mechanism)를 통하여 자국뿐만 아니라, 국가 간의 협조 체제하에 보다 효과적으로 CO₂ 배출량을 줄이기 위한 제도를 도입하고 있다. 이러한 제도에는 새로운 산림의 조성이나 산림의 효과적인 관리를 통하여 발생하는 대기 CO₂의 저감분에 대하여는 의무 감축분에서 공제시켜 의무 감축 부담을 경감시키는 데 목적이 있다. 따라서 각국은 적극적인 흡수원 발굴 연구를 진행하고 있으며, 그 중 산림은 가장 큰 흡수원의 대상으로 지목되고 있다(Fan *et al.*, 1998).

가장 주목을 받고 있는 탄소 흡수원인 산림 생태계의 탄소 흡수는 1차 생산자인 식물의 광합성으로부터 시작되며 광합성의 결과로 고정된 탄소의 일부는 1차 생산자인 식물의 호흡을 통해 대기 중으로 환원된다. 환원된 것을 제외한 고정된 탄소의 대부분은 토양으로 유입되어 미생물의 에너지원으로 공급된다. 토양에 유입된 탄소는 최종적으로 미생물의 분해에 의해 다시 대기 중으로 환원되고 분해가 어려운 유기물은 토양에 오랜 동안 축적되어 토양 탄소의 원천이 된다. 이 결과, 육상 생태계의 토양권에는 약 1,500 Gt C가 축적되어 있다. 이는 식생(550 Gt C)의 약 3배, 대기(780 Gt C)의 약 2배에 이르는 막대한 양에 해당하여, 육상 생태계에서 가장 큰 탄소 저장체로서의 역할을 수행하고 있다(Waring and Running, 1998). 토양 탄소는 온도와 수분 요인과 같은 물리 화학적 요인에 의해 토양 호흡을 통해 대기로 환원되는 속도가 크게 좌우되며, 토양에 축적된 양이 막대한 만큼 그 저장과 방출의 속도와 움직임에 있어서의 약간의 변화에도 대기의 CO₂ 농도는 크게 영향을 받는다.

토양에 축적된 탄소의 많은 양은 토양 호흡을 통해 대기로 환원된다. 토양 호흡은 지온과 수분 등의 물리·화학적 요인에 의하여 영향을 받으며, 이 같은 요인들의 변화는 육상 생태계의 토양에 축적되는 탄소의 양을 결정한다. 지온은 주로 토양 호흡의 계절 및 일변화를 조절하는 인자로 작용하며, 습도는 뿌리와 미생물의 활성, 토양의 물리적, 화학적 특성에 직·간접적인 작용을 하여 토양 호흡에 영향을 준다(Raich and Schlesinger, 1992; Schimel and Clein 1991; Davidson *et al.*, 1998).

본 연구는 다양한 산림 생태계에서 성숙림과 미성숙림의 성숙도와 산림 생태계의 탄소 순환에 중요한 구성 인자로서 1차 생산자인 식물의 우점종의 차이에 의해 서로 다른 생태적 특성을 갖는 낙엽 활엽수림과 상록침엽수림의 식생환경 차이에 따른 토양 탄소 방출(토양 호흡) 특성과 온도와 수분

등의 여러 가지 요인의 조절이 용이한 실내 실험을 통하여 토양 호흡에 가장 중요한 제어요인으로 작용하는 온도와 습도의 변화에 대한 토양 호흡의 반응성과 최대 용수량, 유기물 함량 등의 토양의 물리화학적 특성에 따른 토양 호흡 특성을 파악하고, 이를 통해 지구온난화에 대한 토양의 잠재적 탄소 방출에 대해 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

1) 괴산 - 미성숙림 / 낙엽활엽수림, 상록침엽수림

본 조사지는 충청북도 괴산군 불정면 외령리 속하며(36°56'N, 127°50'E), 전 면적은 약 174ha에 이르며(정, 1987), 조사지의 고도는 상록침엽수림이 해발 355 m, 낙엽활엽수림이 340m에 위치한다. 기상청 충주관측소에서 1971~2000년까지 최근 30년간 측정된 관측 기상 자료에 따르면 연평균 기온은 11.2°C, 강수량은 1,187.8mm, 습도는 72.4%이다. 이 지역은 산불과 화전 경작 등 인위적 교란이 강했던 지역이었으나, 70년대 임분의 약 39%에 일본잎갈나무(*Larix leptolepis*(S.et Z.) Gordon)와 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill)가 인공 식재되어 유지되고 있고, 1984년 건국대학교에서 연습림으로 인수하여 기타 지역에 1985~1986년間に 걸쳐 잣나무를 조림한 후 자연천이가 진행되어 현재의 참나무류와 소나무가 우점하는 임분으로 형성되었다(정 등, 1987). 건국대학교 연습림은 총 32과 53속 84종의 목본이 생육하고 있으며(정 등, 1991), 이 중 조사지의 상록침엽수림은 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)가, 낙엽활엽수림은 상수리나무(*Quercus acutissima* Carrut h.)와 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb.)가 우점하는 혼합림으로 평균 출현 종은 각각 29종과 18종이었다(서 등, 2005).

2) 광릉 - 성숙림/ 낙엽활엽수림, 상록침엽수림

본 조사지는 KoFlux Network에서 2002년 설정한 활엽수 대표 사이트인 DK-site(Deciduous site of KoFlux, Kim et al., 2002)로, 경기도 포천시 소흘읍 직동리 소재 국립산림과학원 중부임업시험장 광릉시험림 내 소리봉(533.1m) 인근에 위치한 낙엽활엽수림(37°45' 25.37"N, 127°09' 11.62"S, 고도 340m) 내와 상록침엽수림이다. 광릉림은 1468년 세조대왕의 능림으로 설정된 후 현재까지 약 530년 동안 보존 유지된 우리나라의 대표적인 중부 온대림이다. 광릉림은 동서로 5km, 남북으로 9km에 이르는 총면적 2,331ha로서 참나무류와 서어나무 및 까치박달 등으로 이루어진 천연림(56%)과 잣나무, 전나무 및 리기다소나무 등의 조림지(44%)로 구성되어 있다. 1998년부터 광릉 장기생태연구조사구(Korean Long-Term Ecological Research; KLTR)로 등록되어 있으며, 사람에게 의한 교란과 출입이 제한되어 보호되고 있는 우리나라 대표적인 중부 냉온대림으로 임목밀도는 1,473 trees ha⁻¹이다. 우점종은 졸참나무(*Quercus serrata*)가 기저면적(barsal area)의 51%를 차지하고 있으며, 서어나무(*Carpinus laxiflora*)가 23%, 까치박달(*Carpinus cordata*) 7.8%의 순으로 나타났다(임 등 2002). 상록침엽수림의 우점종은 잣나무(*Pinus koraiensis*), 전나무(*Abies holophylla*) 및 리기다소나무(*P. rigida*)이었다. 조사구는 유기물이 많이 섞여 있는 갈색삼림토양으로 약산성의 사양토이며, 연 평균 기온은 11.3°C이고 몬순

의 영향으로 여름에는 무덥고 습하며 겨울에는 춥고 건조한 중부 내륙성 기후이다. 연평균 강수량은 1,365mm이다.

2. 토양 환경 요인 조사

조사지에서 우점종의 배열이 균질한 3지점을 각각 선정하여 50×50(cm²) 크기의 방형구를 설치하고, 방형구내의 litter층을 제거한 뒤, 0cm에서 20cm 깊이까지 각 5cm 단위로 토양 샘플관($\varphi=5\text{cm}$, $h=5.1\text{cm}$)을 이용하여 깊이별로 샘플관과 그 주변의 토양을 채취하였다. 채취한 샘플관의 무게를 측정한 후 80℃건조기에서 48시간 건조시킨 무게를 측정하여 토양 함수량을 구하였다.

유기물함량은 채취한 토양을 2mm 체로 쳐 얻은 2mm 이하의 토양만을 넣은 도가니를 800℃의 전기로에서 4시간 동안 작열시킨 후, 작열 전과 작열 후의 토양 무게 차이를 작열 전 토양 무게로 나눈 값을 백분율로 계산하였다.

최대 용수량은 토양 샘플관 두 개를 연결하여, 밑면을 4점의 거즈로 막은 원통에 2mm 이하의 토양을 가득 채워 토양면으로부터의 증발을 차단하기 위해 상부를 불투성 랩으로 덮어 토양이 충분히 물을 흡수할 수 있도록 방치한 후 두 샘플관의 가운데 토양을 약 15g 채취하여 건조시켜 건조 전후의 토양무게 차이를 건조 후 토양 무게로 나눈 값을 백분율로 계산하였다.

3. 잠재 토양 호흡 속도 측정

수분 조건과 온도 조건의 변화에 따른 토양 호흡 속도측정에 사용할 토양 시료는 야외에서 채취한 후 건조되지 않도록 4℃로 유지되는 냉장고에 일시 보관하여 사용하였다. 토양 호흡 측정은 생토(fresh soil) 30g을 50mL 비이커에 넣고 비이커를 500mL 용량의 병 속에 넣어 준비하였다. 수분조건에 따른 토양 호흡 속도를 측정하기 위해 수분구배를 조절할 수 있도록 토양 함수량과 최대 용수량을 이용하여 수분조절표(20, 40, 60, 80%)를 작성하였다. 수분조절표에 맞추어 비이커 안의 토양수분량을 맞추어 25℃로 유지되는 식물조절생장실(Phytotron, Py-1000)에서 3일(72시간) 안정 배양시킨 후 측정하였다. 토양이 들어있는 병의 입구는 랩으로 감싼 후 산소의 출입이 가능하도록 구멍을 뚫어주었다. 토양 호흡의 계산은 특수 제작한 뚜껑으로 병을 밀폐한 후 약 1분 후, 주사기를 이용하여 병의 내부 공기를 2시간 간격으로(초기(0시간, 2시간, 4시간)) 각각 10mL를 채취하였다. 이와 같은 토양 호흡측정 방법으로 수분 구배 조건에 변화를 주어 토양 호흡량을 분석하였다. 온도 조건에 따른 토양 호흡 속도를 측정하기 위해 각 토양 시료의 수분은 60%로 맞추어 준 후 생장실의 온도를 15℃, 25℃, 40℃로 변화를 주어 3일간(72시간) 안정 배양시킨 후 측정하였다. Gas를 채취하는 방법은 수분 조건에 따른 토양 호흡 속도 측정 방법과 동일한 방법으로 실시하였다. 채취된 gas는 gas chromatography (Acme 6000GC, Porapak Q 80/100 column, detector: 150℃, 표준 CO₂ gas: 369ppm, 1498ppm)를 이용하여 분석하였다. CO₂ 농도를 측정한 후 0시간, 2시간, 4시간에 대한 CO₂ 농도를 단위 시간 경과에 대한 CO₂ 농도 증가 속도를 계산하여 토양 호흡량을 산정하였다. CO₂ 농도를 측정하여 토양 호흡 속도(Soil respiration, SR)(mg CO₂ g⁻¹h⁻¹)을 구하는데에는 (식 1)와 같이 계산하였으며, 그 중 CO₂의 밀도인 P는 (식 2)와 같다(Bekku *et al.*, 1995).

$$SR = \Delta CO_2 \times 10^{-6} \times \rho \times V / s.d.w \quad (\text{식 1})$$

(ΔCO_2 = CO_2 의 농도 변화, ρ = CO_2 의 밀도, V =병안의 부피, $s.d.w$ =건조된 토양시료의 무게)

$$P=PM/RT \quad (\text{식 2})$$

(P =대기압, M = CO_2 의 분자량, R =기체 상수, T =절대 온도)

결과 및 고찰

1. 토양 환경 요인 분석

토양 환경 요인으로서 토양 함수량, 최대 용수량, 유기물 함량을 0~10cm까지 각 5cm 깊이별로 조사하였다. 광릉의 상록침엽수림의 경우 토양 함수량은 지표면이 8.2%로 4곳의 조사지 중 가장 낮은 수치를 나타냈고, 괴산의 낙엽활엽수림이 30.5%로 가장 높게 나타났다. 토양 함수량은 전반적으로 낙엽활엽수림에서 더 크게 나타났다(Fig. 1). 상록침엽수림은 낙엽 분해 속도가 활엽수림보다 느려 토양공극 발달이 나쁘고, 바늘처럼 좁은 낙엽들은 빗방울의 충격으로부터 토양 공극을 잘 보호하지 못하기 때문이다(김, 2002). 토양 공극이 발달한 경우 토양은 더 많은 수분을 함유할 수 있으며, 함수량이 더 높게 나오게 된다. 최대 용수량은 전반적으로 상록활엽수림의 토양에서 더 크게 나타났다. 최대 용수량을 구할 때는 2mm 이내의 토양을 사용하므로, 이로 보아 최대 용수량이 높게 나타난다는 것은 토양비율이 입자가 고운 토양의 함수량이 많다는 것을 알 수 있다. 실제로 토양 샘플링할 때에도 토심이 깊어지면서 2mm 이상인 자갈의 비율이 점점 적어지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2). 깊이에 따른 유기물 함량은 성숙림의 낙엽활엽수림, 성숙림의 상록침엽수림, 미성숙림의 낙엽활엽수림, 미성숙림의 상록상록침엽수림 순서로 많이 측정되었다. 성숙림의 낙엽활엽수림은 13.4%에서 11.8%로 토심에 따라 감소하였으며, 성숙림의 상록침엽수림은 10.5%에서 7.9%로, 미성숙림의 낙엽활엽수림은 7.3%에서 5.6%, 미성숙림의 상록침엽수림은 7.1%에서 5.7%의 감소를 보여 토심에 따른 경향성이 같음을 보였지만 그 변화폭이 크지는 않았다(Fig. 3).

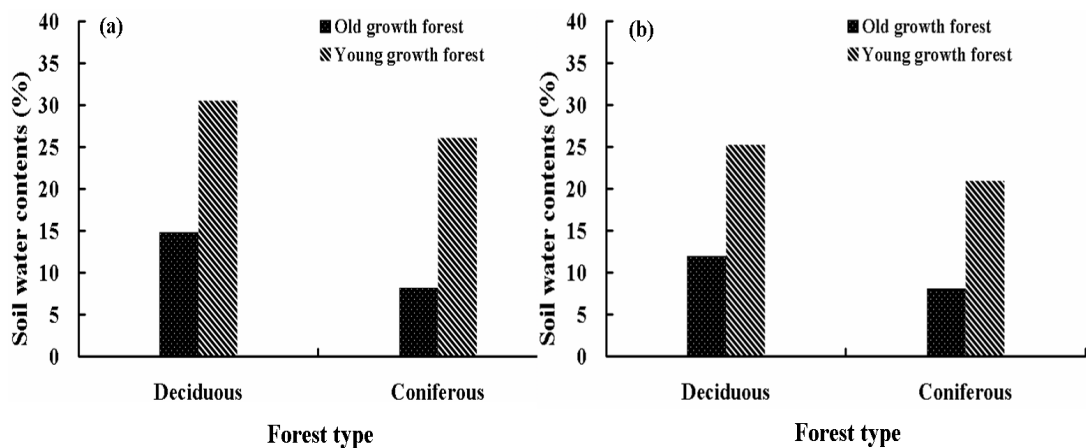


Fig. 1. Water contents of soil depths. (a) 0~5cm (b) 5~10cm

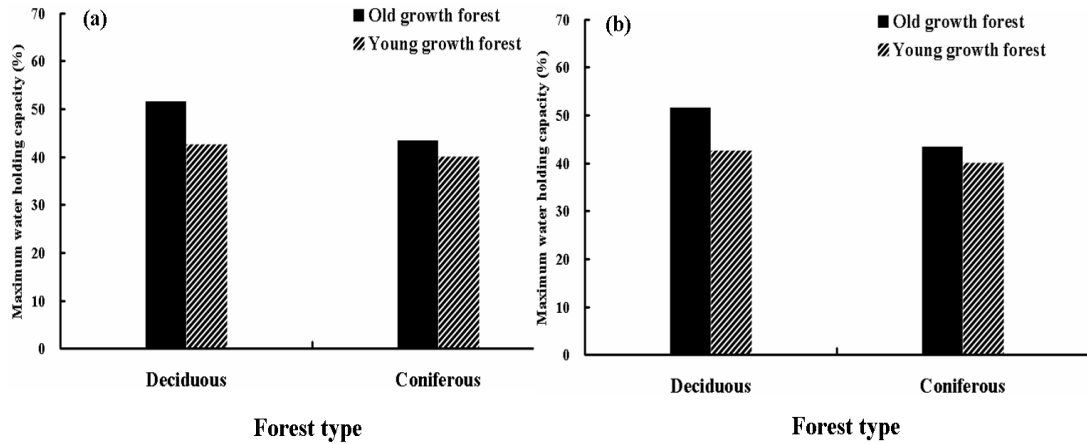


Fig. 2. Maximum water holding capacity of soil depths. (a) 0~5cm (b) 5~10cm

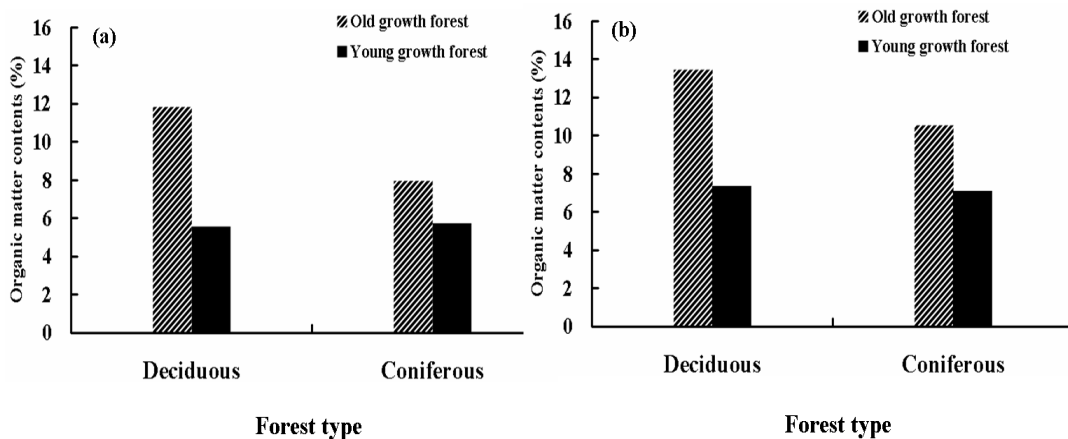


Fig. 3. Organic matter contents of soil depths. (a) 0~5cm (b) 5~10cm

2. 잠재 토양 호흡 측정

1) 수분, 온도 조절에 따른 토양 호흡

토양 습도가 낮을 경우, 토양 미생물의 활성이 저해되므로 토양 호흡과 속도는 낮고, 낮은 습도에서 높은 습도로 올라갈 경우, 수분이 공급되면 건조 시 토양 호흡에 의해 발생한 CO_2 가 고농도로 채워져 있던 토양 공극이 수분으로 대체되고, 이때 CO_2 의 발생량은 증가한다(Liu *et al.*, 2002).

토양 수분을 조절하여 실험한 결과, 모든 처리구에서 토양 호흡은 온도 및 수분 증가에 대해 종형(bell shape) 형태를 보였다. 4곳의 조사지 모두 토양의 수분을 60%로 맞춰 주었을 때가 가장 높은 호흡량을 보였다. 일반적으로 토양 호흡은 토양 함수량이 60%일 때 가장 높은 호흡량을 보인다(Wang *et al.*, 2003). Fig. 4에서 보는 것처럼 토양의 수분량이 60%일 때 성숙림의 낙엽활엽수림의 토양 호흡

량은 $5.32 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 로 상록침엽수림의 $3.60 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 에 비해 약 1.5배 더 높게 측정되었으며, 미성숙림의 낙엽활엽수림의 토양 호흡량은 $3.29 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 로 상록침엽수림의 $3.06 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 보다 1.1배 더 높게 측정되었다. 이러한 결과는 성숙림과 미성숙림의 유기물 함량과도 연관성이 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 미성숙림이 성숙림에 비해, 또한 낙엽활엽수림이 상록침엽수림에 비해 상대적으로 많은 양의 유기물이 축적되어 있어 미생물의 활발한 활동이 원인으로 생각되어지며, 이는 온대낙엽수림의 토양 호흡이 $4.8 \sim 8.3 \text{ tC ha}^{-1}$ 으로 온대 상록침엽수림이 $1.1 \sim 7.5 \text{ tC ha}^{-1}$ (Maier *et al.*, 2004 : Lee, 2003)로 상록침엽수림에서 토양 호흡량이 낮다고 보고한 결과와 유사한 경향이다. 온도를 조절하여 실험한 결과, 성숙림의 낙엽활엽수림의 경우, 토양 호흡은 15°C 에서 25°C 로 증가될 때까지 각각 $0.50 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $5.80 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 으로 증가 양상을 보이다가, 40°C 로 높여서 실험한 결과 $1.54 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 로 감소하는 추세를 나타냈다. 토양 호흡값은 성숙림의 낙엽활엽수림, 미성숙림의 낙엽활엽수림, 성숙림의 상록침엽수림, 미성숙림의 상록침엽수림 순으로 많이 측정되었다(Fig. 5) 제일 높게 나온 성숙림의 낙엽활엽수림은 25°C 일 때 토양 호흡값은 $5.80 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 이고, 가장 낮게 나온 미성숙림의 상록침엽수림의 25°C 일 때의 토양 호흡값은 $4.00 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 으로 1.45배의 차이를 나타냈다. 토양 호흡에 영향을 주는 주 요인 중 지온은 주로 토양 호흡의 계절 및 일변화를 조절하는 인자로 작용한다. 산림 토양의 온도는 미생물에 의해 주도되는 분해 활동과 생물지 화학 환전 과정에 영향을 미치는 주된 요인이다(Bonan and Van Clece 1991, McDonald *et al.*, 1995).

토양 호흡에 관한 대부분의 연구에서 토양 호흡이 1차적으로 토양 온도에 의해서 주도되며, 이들 간에 상당히 높은 상관관계가 있음을 보고하였다(Witka *mp* 1969). 야외에서 토양 호흡을 측정한 Wid en(2002)은 혼합상록침엽수림에서 복사면의 경우 연간 $352 \sim 363 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 의 호흡량이 발생했다

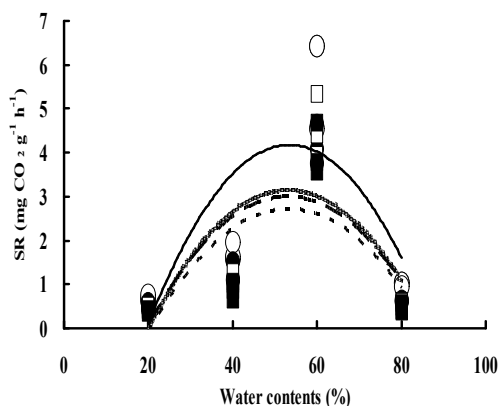


Fig. 4. Soil respiration under the various water contents.

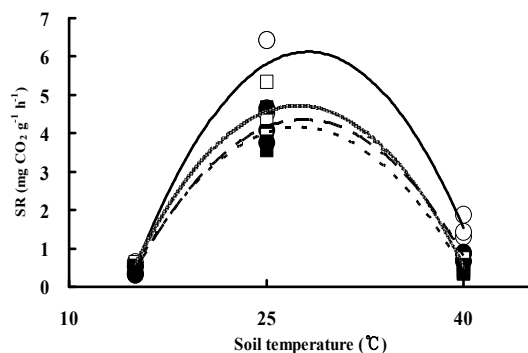


Fig. 5. Soil respiration under the various temperature.

Old_Deci : Deciduous of old growth forest, Old_Coni : Coniferous of old growth forest

Young_Deci : Deciduous of young growth forest, Young_Coni : Coniferous of young growth forest

범례: ○:Old Deci, ●: Old_Coni, □:Young_Deci, ■: Young_Coni.

고 보고하였고, Tang *et al.*(2005) 은 미국의 폰데로사 소나무(*Pinus ponderosa*)림의 토양 호흡량이 연간 $495.6 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 이라고 하였으며, Mo(2005)는 냉온대 낙엽활엽수림에서 연간 $725.5 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 의 토양 호흡이 발생한다고 하였다. 이는 본 조사에서 상록침엽수림에 비해 낙엽활엽수림에의 토양 호흡량이 더 크게 나온 것과 일치한다고 할 수 있다.

2) 토양 깊이별 토양 호흡

토양 깊이별 토양 호흡 결과, 전반적으로 4군데 조사구 모두 0~5cm의 토양 호흡이 5~10cm의 토양 호흡보다 더 높은 경향을 나타내었다(Fig. 6). 4군데 조사구에서 0~5cm와 5~10cm의 토양 호흡량의 차이는 평균 $0.32 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 의 차이를 보였다. 이는 토양 깊이별 유기물 함량의 차이가 가장 큰 원인으로 보인다. 실제로 결과를 보았을 때 토양 호흡량과 유기물 함량의 경향성이 같음을 확인하였다(Fig. 7). 토양의 유기물은 지상부에서 낙엽의 형태로, 그리고 지하부의 고사로 인하여 공급된다. 이들 유기물의 양과 질은 토양 미생물과 토양 소동물의 활성에 영향을 미치므로 토양 호흡에 차이를 나타낼 수 있다(Chapman, 1979). 이러한 낙엽활엽수림과 상록침엽수림의 토양탄소의 유기물 함량 차이

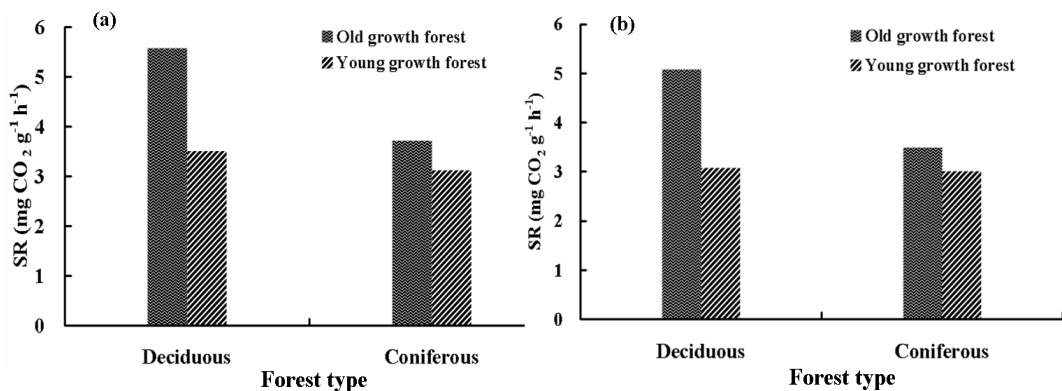


Fig. 6. Soil respiration of soil depths. (a) 0~5cm (b) 5~10cm

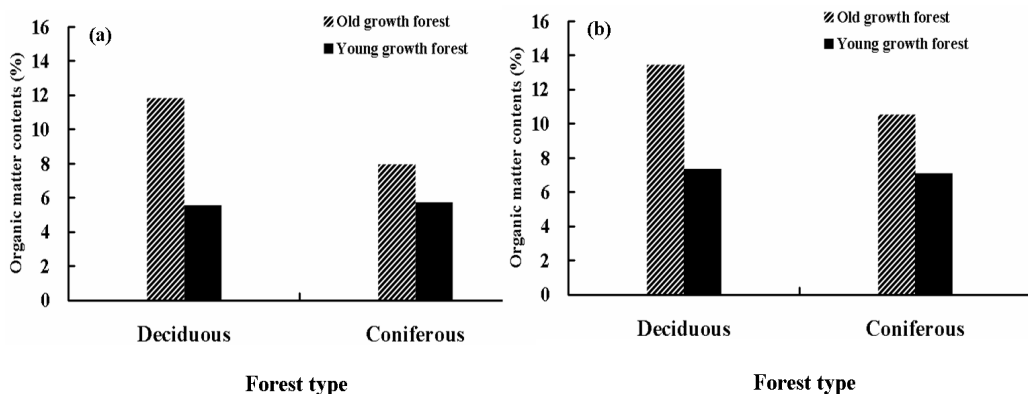


Fig. 7. Organic matter contents of soil depths. (a) 0~5cm (b) 5~10cm

에 의한 토양 호흡 변화의 차이는 각각의 군락이 생산해 내는 리터의 C/N비와 강수량에 차이에 기인하는 것으로 보인다. 일반적으로 C/N비는 침엽수성 리터가 낙엽활엽수성 리터보다 높으며, 그에 의해 미생물에 의한 분해 속도도 느린 것으로 보고되어 있다(진 등, 2002). 이러한 결과들과 관련지어 볼 때 낙엽활엽수림이 상록침엽수림보다 유기물 함량이 높은 원인은 낙엽활엽수의 리터가 낮은 C/N비로 분해가 활발하게 일어나고, 분해된 미세 유기물 입자 등은 강수에 의해 토심이 깊은 쪽으로 빠르게 용탈되어 일정 토심에서 축적되는 과정이 지속적으로 반복된 결과일 것으로 생각되며, 이러한 차이가 결과적으로 토양 호흡에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2008년도 한국자연보전협회의 지원을 받아 수행하였다.

참고문헌

- 강호정, 장인영. 2005. 자연생태계에서의 온실기체 플럭스 : 산림 토양에서의 메탄 산화율측정. 한국농림기상학회 2005 가을 학술발표논문집. p 7-9.
- 김춘식, 임종환, 신준환. 2003. 광릉 천연활엽수림의 낙엽낙지와 낙엽분해에 따른 양분동태. 한국농림기상학회지. 5(2): 87-93.
- 서상욱, 민윤경, 이재석. 2005. 토양 호흡이 계절적 변이에 기여하는 리터의 분해 속도. 한국농림기상학회지. 7(1): 57-65.
- 서상욱, 민윤경, 이재석. 2005. 온대 낙엽활엽수림과 상록침엽수림내의 미기후 및 토양 환경 특성. 한국자연보존연구지. 3(3): 247-259.
- 서승희. 2004. 천이계열에 따른 온대초원의 현존생물량의 분배형태 변화와 토양 호흡과의 관계.
- 이광호. 2004. 인간과 기후환경. 시그마프레스. p. 118-120.
- 임종환, 신준환, 김광택, 천정화, 오정수. 2003. 광릉 활엽수천연림의 산림식생구조, 입지환경 및 탄소 저장량. 한국농림기상학회지. 5(2): 101-109.
- 정윤수, 추갑철. 1991. 건국대학교 괴산연습림(槐山演習林)의 목본식물상. 건국대학교 자연과학연구소 논문집. 2: 23-35.
- 환경부. 1998. G-7 프로젝트(지구 규모 대기 환경 기초 및 기반 기술) 개발 사업의 세부과제 - 지구 대기 조성 변화 감시의 제2단계 제 3차년도 연차 보고서: 연구기관- 기상청, 기상연구소. 152-155.
- Bekku, Y., K. Hiroshi, N. Toshie and I. Hideo. 1995. Measurement of soil respiration using closed chamber method: An IRGA technique. Ecological Research. 10(3): 369-373.
- Bonan, G. B. and K. Van Cleve. 1992. Soil temperature, nitrogen mineralization and carbon source-sink relationships in boreal forest. Canadian Journal Forest Research. 22: 629-639.
- Chapman, S. B. 1979. Some interrelationship between soil root respiration in lowland calluna heathland in southern England. Ecology. 67: 1-20.

- Davidson, E. A., E. Belk and R. D. Boone. 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*. 4: 217-227.
- Fan, S., M. Gloor, J. Mahlman, S. Pacala, J. Sarmiento, T. Takahashi and P. Tans. 1998. A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models. *Science*. 282: 442-446.
- IPCC. 1995. *Climate change 1995 - The Science of Climate Change(Including Summary for Policymakers)*. Report of IPCC Working Group 1.
- IPCC. 2001. *A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lee, M. S., K. Nakane, T. Nakatsubo and H. Koizumi. 2003. Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil*. 255: 311-318.
- Liu, X., S. Wan, B. Su, D. Hui and Y. Luo. 2002. Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant and Soil*. 240: 213-223.
- MacDonald, N. W., D. R. Zak and K. S. Pregitzer. 1995. Temperature effects on kinetics of microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil Science Society America Journal*. 59: 223-240.
- Maier, C. A. and L. W. Kress. 1998. Soil CO₂ evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine(*Pinus taeda*) plantation as affected by moisture and nutrient availability. *Canadian Journal of Forest Research*. 30: 347-359.
- Martin, J. H., S. E. Fitzwater, and R. M. Gordon. 1990. Iron deficiency limits phytoplankton growth in antarctic waters. *Global Biogeochem. Cycles*. 4: 5-12.
- Mielnick, P. C. and W. A. Dugas. 2000. Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 221-228.
- Mo, W., M. S. Lee, M. Uchida, M. Inatomi, N. Saigusa, S. Mariko and H. Koizumi. 2005. Seasonal and annual variations in soil respiration in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 134: 81-94.
- Raich, J. W. and W. H. Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 44B: 81-99.
- Schimel, J. P. and J. S. Clein. 1991. Microbial response to freeze-thaw cycles in tundra and taiga soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 28: 1061-1066.
- Tang, J., L. Misson, A. Gershenson, W. Cheng and A. H. Goldstein. 2005. Continuous measurements of soil respiration with and without roots in a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*. 132(3/4): 212-227.
- Wang, G., J. Qian, G. Cheng and Y. Lai. 2002. Soil organic carbon pool of grassland on the Qinghai-Tibetan plateau and its global implication. *Sci. Total Environ*. 291: 207-217.
- Warning, R. H. and S. W. Running. 1998. *Forest Ecosystem. Analysis at Multiple Scale*. Academic press 67.

Witkamp, M. 1969. Cycle of temperature and carbon dioxide evolution from the forest floor. Ecology. 47: 492-494.

요 약

급속히 진행되는 지구온난화는 온도 환경뿐 아니라 수분 환경에도 크게 영향을 미친다. 이는 토양에 축적되어 있는 탄소의 축적 능력에도 큰 영향을 미치며, 이미 축적되어 있는 탄소의 양적 변화에도 크게 영향을 미칠 수 있다. 본 연구는 다양한 산림 생태계의 토양이 온도 및 수분조절의 변화에 따른 토양탄소방출(토양 호흡) 특성을 파악하고, 이를 통해 지구온난화에 대한 토양의 잠재적 탄소방출에 대해 고찰하였다. 연구 조사지는 충북 괴산 건국대학교 연습림(미성숙림)과 경기도 포천시 광릉 수목원(성숙림)에 위치하였고, 토양환경과 우점종이 서로 다른 상록침엽수림과 낙엽활엽수림에서 토양을 채취하였다. 토양시료는 광릉과 괴산에서 8월에 채취하였고, 4℃에 보관하여 사용하였다. Closed method를 이용하여 방출된 CO₂ gas를 주사기로 채취한 후, GC로 분석하였다. 토양의 수분량이 60%일 때 성숙림의 낙엽활엽수림 토양 호흡량은 5.32mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹로 상록침엽수림의 3.60mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹에 비해 약 1.5배 더 높게 측정되었으며, 미성숙림의 낙엽활엽수림 토양 호흡량은 3.29mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹로 상록침엽수림의 3.06mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹보다 1.1배 더 높게 측정되었다. 또한 온도에 따른 토양 호흡은 25℃로 증가될 때까지는 증가 양상을 보이다가, 40℃로 높여서 실험한 결과 감소하는 추세를 나타냈다. CO₂ 발생률은 온도와 수분의 증가와 깊은 관계가 있었으며, 이와 함께 유기물 함량도 토양 호흡과 유사한 경향을 보였다.

검색어 : 침엽수림, 낙엽활엽수림, 토양 습도, 토양 온도, 토양 호흡