

토양호흡의 계절적 변이에 기여하는 리터의 분해속도

서상욱 · 민윤경 · 이재석

전국대학교 이과대학 생명과학과

(2005년 1월 24일 접수; 2005년 3월 29일 수락)

Seasonal Variation of Contribution of Leaf-Litter Decomposition Rate in Soil Respiration in Temperate Deciduous Forest

Sang-Uk Suh, Youn-Kyung Min and Jae-Seok Lee

Department of Biological Sciences, College of Science, Konkuk University, Seoul, Korea

(Received January 24, 2005; Accepted March 29, 2005)

ABSTRACT

In a forest ecosystem, the major source of soil carbon input is from litterfall and its decomposition. To understand the effect of litterfall and litter decomposition on seasonal variation of soil respiration and litter decomposition rates were measured in temperate deciduous forest in Korea. Annual litterfall collected from litter trap (1m × 1m) were $147.5 \pm 8.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in 2003. About 47% of litterfall were *Quercus serrata* leaf followed by *Carpinus laxiflora* leaf (27%), *Carpinus cordata* leaf (7%), and others, such as other leaf, bark, branch, and acorn, were 20%. The decomposition rate was the highest in *C. cordata* (33.03%, $k = 0.46$), followed by *C. laxiflora* (25.73%, $k = 0.30$), and *Q. serrata* (24.17%, $k = 0.28$). The continuous measurement of soil respiration from January 2004 to December 2004 was carried out using AOCC (Automatic Open-Closed multi-Chamber system). The annual soil respiration rate was $629.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ and the litter decomposition was $30.0 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. The portion of litter decomposition rate on soil respiration rate was about 5%. From January to February, when the soil respiration rate was the lowest, about 11% of soil respiration ($7.4 \pm 1.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) were effected by litter decomposition rate ($0.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$). The highest soil respiration rate ($111.5 \pm 16.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) and litter decomposition rate ($11.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) were showed in July to August. According to the regression analysis between soil respiration rate and litter decomposition, the soil respiration rate were related to litter decomposition with the correlations ($r^2 = 0.63$).

Key words : Soil respiration, Litter decomposition rate, Deciduous forest, Automatic open-closed chamber

I. 서 론

산업혁명 이전까지 안정적이던 대기의 CO_2 농도 (280 ppm)는 산업혁명에 따른 화석연료 사용의 급속한 증가에 따라 매년 약 1.5ppm 정도, 즉 3.4 Pg C yr^{-1} ($\text{Pg} = 10^{15} \text{ g}$)의 탄소가 대기 중에 축적되고 있다 (IPCC 2001). 이러한 인간에 의한 대기의 CO_2 농도 증가는 지구 규모의 탄소 순환에 비가역적인 변화와

함께 전 지구적 기후변화를 초래하여 지구의 다양한 생태계에 심각한 혼란을 야기할 것으로 예견되고 있다 (Rosenzweig and Hillel 1998).

전 지구적으로 대기, 식생, 토양에는 각각 775, 550, 1,500 Pg의 탄소가 축적되어 있으며 (Waring and Running 1998), 연간 약 $2 \pm 1 \text{ Pg C yr}^{-1}$ 의 탄소가 육상 생태계로 흡입되는 것으로 추정되고 있다 (IGBP 1998). 이러한 각각의 탄소 축적량 중, 토양권

은 식생의 약 3배, 대기의 약 2배에 달하는 막대한 양의 탄소를 축적하고 있어 토양권 탄소의 동태 파악은 장래의 대기-식생-토양간의 탄소 순환의 메카니즘과 양적 순환관계를 파악하고 예측하는데 있어 대단히 중요한 의미를 갖는다. 토양권의 탄소 동태를 파악하기 위해서는 리터의 축적과 분해, 뿌리호흡을 포함하는 각각의 부분에 대한 동태와 정량을 필요로 한다 (Raich and Schlesinger 1992).

토양권으로의 탄소 유입은 식물체로부터의 낙엽, 낙지, 고사목 등이 중요한 요소이며, 이러한 요소들은 미생물에 의해 분해되어 토양호흡을 구성하는 다른 요소들과 함께 대기로 환원된다. 온대 낙엽수림의 경우, 매년 일정한 시기에 일시적으로 공급되는 낙엽은 토양으로 공급되는 탄소의 주요한 부분이 되며, 이듬해 상대적으로 영양성이 풍부한 리터는 미생물에 의해 활발히 분해되어 토양호흡의 일부로서 대기 중에 방출되나, 해를 거듭할수록 난분해성 물질의 비율 증가로 그 분해속도는 저하되어 토양에 축적되는 되어 간다. 이러한 경우 전년도에 공급된 리터가 이듬해의 토양호흡에 어느 정도의 비율을 차지하고 있는가, 또한 해를 거듭하면서 그 비율이 어떠한 추이로 변화해 가는지의 파악은 토양권으로의 탄소 유입과 유출 패턴을 해석하는데 대단히 중요한 자료가 될 것이다.

본 연구는 온대 낙엽 활엽수림에서 전년도에 리터로 공급된 탄소가 어떠한 형태로 분해되어 가는가, 또한 리터 생산량과 분해 속도가 토양호흡의 계절적 변화에 어느 정도 기여하고 있는지를 파악하여, 리터의 분해와 토양호흡간의 관련성을 찾기 위해 실시하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

본 조사지는 KoFlux Network의 DK-site로, 경기도 포천시 소흘읍 직동리 소재 국립산림과학원 중부임업시험장 광릉시험림내 소리봉(533.1m) 인근의 낙엽활엽수림(37°45'25.37"N, 127°09'11.62"S, 고도 340m)이다. 또한 1998년부터 광릉 장기생태연구조사구(Korean Long-Term Ecological Research; KLTR)로 등록되어 있는 본 조사지는(Oh *et al.* 2000), 천연낙엽활엽수림으로 참나무류와 서어나무, 까치박달 등으로 이루어진 우리나라 대표적인 중부 온대림으로 임목밀도는 1,473 trees ha⁻¹이며 졸참나무(*Q. serrata*), 서어나무(*C.*

laxiflora), 까치박달(*C. cordata*) 등이 우점종으로 조사되었다(Lim *et al.* 2002). 토양은 유기물이 많이 섞여 있는 갈색삼림토양으로 약산성의 사양토이며, 토양함수량은 약 34%, 토양최대용수량은 약 73%, 토양 밀도는 0.92g cm⁻³이고, 연평균기온은 11.3°C이며 몬순의 영향으로 여름에는 무덥고 습하며 겨울에는 춥고 건조한 중부내륙성 기후이며 연평균 강수량은 1,365mm이다.

2.2. 리터 생산량 측정

전년도에 공급되는 리터의 양을 측정하기 위해 1mm 격자의 비부패성 천을 이용하여 1×1m² 리터트랩을 제작, 토양호흡 측정 장치가 설치된 DK-site 인근 중에서 수관을 구성하는 종들의 비율이 적절한 3 곳을 선정하여 2003년 9월 임상에 지상 30cm 높이로 설치하였다. 리터 수집은 비교적 낙엽양이 많아지는 10월부터 11월 사이에는 2주 간격으로, 그 외 기간에는 약 1개월 단위로 실시되었다. 각각의 리터 트랩으로부터 수집된 리터는 실험실로 옮겨 잎, 가지, 수피, 열매, 생식기관(열매 제외), 기타 등으로 구분하여 각각의 수종별로 분류한 후 각각을 70°C 드라이오븐에서 48시간 건조하여 실온에서 냉각시킨 후 무게를 칭량하였다.

2.3. 리터 분해

리터의 분해속도를 측정하기 위한 리터백은 1mm의 나일론 천을 18×25 cm² 크기로 제작하였다. 조사지의 우점종이며 리터생산량이 가장 많은 졸참나무, 서어나무, 까치박달 낙엽은 2003년 12월 본 조사지의 북사면에서 수집하여 80°C 드라이오븐에서 48시간 동안 건조 후 0.01g 단위까지 칭량하여, 2003년 12월에 조사지의 북사면 낙엽활엽수림 임상의 낙엽층 밑에 270개(3중 × 5 조사지 × 6 수집시기)를 매설하였다. 설치된 리터백은 2개월 간격(2, 4, 6, 8, 10, 12월)으로 수집하여 걸의 흙과 곰팡이균사, 식물체의 잔뿌리 등을 제거한 후 80°C 드라이오븐에서 48시간 동안 건조 후 칭량하여 분해속도를 계산하였다. 낙엽분해속도는 Brinson *et al.*(1981)의 연간 낙엽분해속도 공식을 이용하여 3 우점종의 낙엽분해속도를 계산하였다.

$$-k = \ln(X/X_0)/t, \quad (1.1)$$

X_0 는 리터백에 넣은 처음 무게, X 는 수집한 리터백에 남아 있는 낙엽의 무게, t 는 시간이다.

2.4. 토양호흡

토양호흡량의 연속적인 측정을 위하여 AOCC (Automatic Open-Closed multi-Chamber)를 제작하여 조사지에 설치하였다. AOCC는 크게 챔버, main controller, 펌프와 IRGA(Infrared gas analyzer)의 3 부분으로 구분된다. 토양호흡의 분석은 각 챔버당 24 분씩 총 4개의 챔버가 순차적으로 측정되며 이는 타이머에 의해 조절된다. 챔버가 닫혀 측정이 개시되면 정확히 1.8 L min^{-1} 의 대기가 펌프를 통해 챔버로 흘러 들어가고, 동일한 양의 공기가 챔버의 배출구로부터 펌프를 통해 흡입되어 purma-pure drier로 수분을 완전히 제거한 후, CO_2 가스분석기로 보내진다. 이때 가스분석기로 보내지는 유량은 0.6 L min^{-1} 로 조절되어진다. 기온은 지상 30 cm 위치에서, 지온은 0 과 10 cm 깊이에서 열전대를 이용하여 4분 간격으로 측정하였다. 가스분석기로부터 분석되어진 데이터는 데이터로거에 기록되고 기록된 데이터는 매일 말에 수집하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 리터 생산량

2003년 광릉 낙엽활엽수림의 총 리터 생산량은 $148 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었다(Table 1). 조사지의 우점종인 졸참나무, 서어나무, 까치박달의 순수 낙엽의 생산량만을 고려할 경우 $118 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이며 이 중 졸참나무 잎의 낙엽이 전체 리터의 47%로 가장 높았으며, 다음으로 서어나무, 까치박달이 각각 27%, 7% 순이었다. 우점종을 제외한 기타 수종의 낙엽도 7%를 차지하여 전체 리터의 87%가 낙엽이었다. 낙엽 이외의 리터 중에는 줄기가 전체의 5%이었으며 열매가 4%, 열매를 제외한 생식기관이 1%, 수피가 0.2%, 기타 나머지 부속지들이 3%를 차지하고 있었다. Kim et

al.(2003)과 비교해 볼 때 리터의 생산량이 적은 경향을 보이고 있는데 이는 DK site 중에서도 공간적 입지에 따른 차이와 고사목에 의한 낙지의 공급에 의한 것으로 사료된다.

3.2. 리터 분해

조사지의 임상에 매설 후 1년이 경과한 시점에서의 리터 분해속도는 까치박달의 경우 $33.0\%(3.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1})$ 로 가장 빨랐으며, 서어나무 $25.7\%(10.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1})$, 졸참나무 $24.2\%(16.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1})$ 순이었다(Fig. 1). Kim et al.(2003)과 비교해 볼 때 졸참나무의 경우 1년경과 후 약 25%가 분해되는 유사한 경향을 보인 반면, 서어나무와 까치박달의 경우 1년경과 후 70-80%가 분해되는 결과와는 달리 본 조사지에 서는 25-35% 만이 분해되었다. 이는 조사지의 지리, 공간적 변이에 따른 미기후 등의 차이에 의한 것으로 사료된다.

3 우점종의 분해속도는 기온이 월평균 15-20가 되는 7-8월에 가장 빠르게 나타났다. 까치박달의 경우 15-20에서 약 $24.7\%(2.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1})$ 의 분해가 진행되었으며 서어나무는 약 $18.1\%(7.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1})$, 졸참나무는 약 $11.7\%(8.1 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1})$ 로 까치박달이 리터 분해에 있어 온도변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 추측된다(Fig. 2).

Kim et al.(2003)은 2년 동안의 리터 분해 실험을 거쳐 졸참나무의 질량감소율이 가장 적으며 그 다음으로 서어나무 그리고 까치박달이 가장 잘 분해된다는 보고를 한 바 있는데 이는 본 조사지의 실험결과와도 일치하였다. 이러한 원인은 낙엽의 구성양분 동태와 함께 서로 다른 형태학적 차이를 가지기 때문이며, 졸참나무의 잎이 서어나무나 까치박달의 잎보다 상대적으로 두껍고 질기기 때문이다(Kim et al. 2003).

졸참나무의 분해속도 k 는 0.28로 가장 낮았으며, 다음은 서어나무로 0.30, 까치박달은 0.46으로 가장 빠른 분해속도를 보였다. You et al.(2000)에 의하면 광릉에서 38개월간의 낙엽분해속도 k 는 혼합활엽수, 잣

Table 1. Annual litterfall input of 3 dominant species at the Gwangneung DK-site ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$).

Year	Leaf litter				Other tree component					total
	<i>Q. serata</i>	<i>C. laxiflora</i>	<i>C. cordata</i>	Others	bark	brabch	acorn	¹ Repr.	² Misc.	
2004	137.2	79.2	19.3	21.0	0.6	15.2	11.3	2.0	9.2	294.9

¹Repr.: Reproduction parts except acorn

²Misc.: Miscellaneous

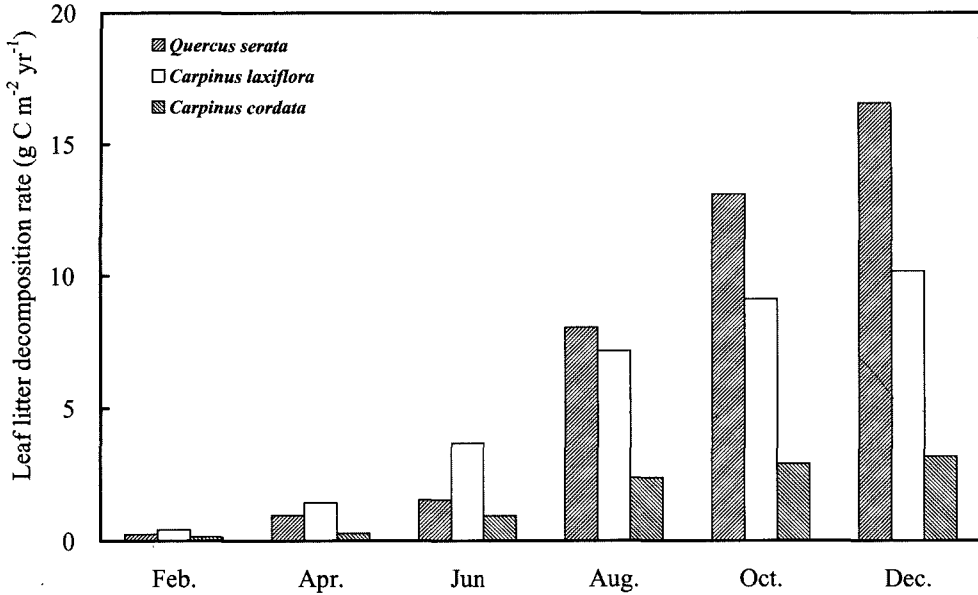


Fig. 1. Decomposition rate of 3 dominant species leaf litter at the Gwangneung-DK site in 2004.

나무, 리기다소나무 그리고 전나무 낙엽에서 각각 0.61, 0.40, 0.37, 0.21yr⁻¹로 보고된 바 있다. 두 실험에서 본 조사지의 낙엽활엽수림의 낙엽분해속도와 침엽수림의 낙엽분해율과 유사한 값을 보였는데 이는 12개월과 38개월간의 분해기간의 차이에 의한 것으로 추측된다.

3.3. 토양호흡

야외측정기간 동안 토양온도는 동계가 가장 낮고 하계가 높은 형태의 전형적인 계절변화 양상을 나타냈다. Fig. 3은 챔버 내의 10 cm 깊이에서 측정된 토양온도와 토양호흡의 월평균변화를 나타낸다. 10 cm 깊이의 월평균 토양온도는 동절기 최저 0.7°C에서 하절기 최

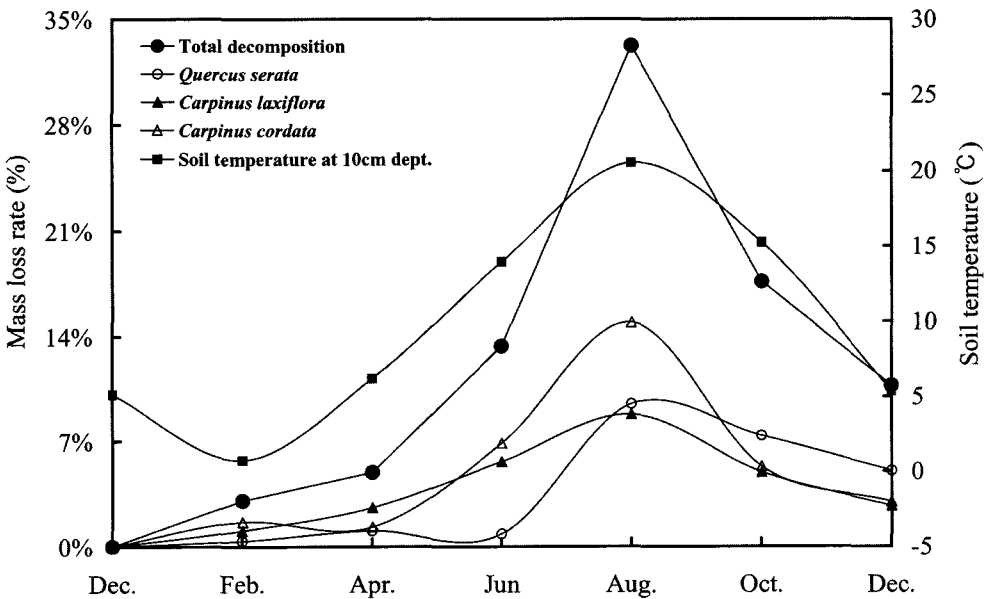


Fig. 2. Mass loss rate of 3 dominant species leaf litter at the Gwangneung-DK site in 2004.

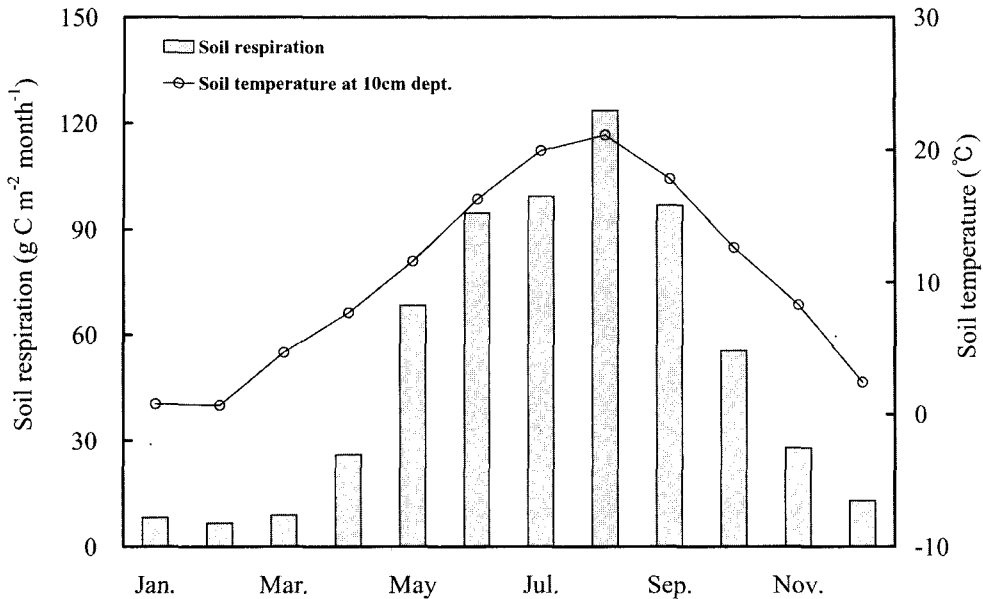


Fig. 3. Monthly pattern of soil respiration and soil temperature at the Gwangneung-DK site in 2004.

대 21.1°C이었다. 토양호흡의 계절적 변동성은 일반적으로 지온의 변화에서 기인하는 것으로 보고되고 있으며(Buchmann 2000, Scott-Denton *et al.* 2003), 충분한 토양수분 환경 하에서 토양호흡량은 지온의 증가에 지수적으로 증가하는 것으로 알려져 있다(Hunt *et al.* 2002).

본 조사지에서도 토양호흡은 지온의 계절적 변화와 함께 단기적 또는 장기적으로 변화하는 양상을 보였다. 토양호흡은 지온이 최저인 2004년 1-2월에 $7.4 \pm 1.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 에서 점진적인 지온의 상승과 더불어 지온이 가장 높은 2004년 7-8월에 $111.5 \pm 16.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 최고치를 보였다. 이는 대부분의 생태계에서 토양호흡의 최대값이 하절기에 나타난다는 보고(Son *et al.* 1994, Yi 2003)와 일치하였다. Agren *et al.*(1991)에 의하면 지온이 0°C이하이면 미생물 활성에 영향을 주어 리터의 분해속도가 감소하고 10-30°C에서는 급격하게 증가하며 40°C를 초과하면 리터 분해속도가 다시 감소한다고 하였는데, 본 연구에서도 연간 토양호흡량의 85%가 지온이 10-30°C 범위인 6월부터 10월 사이에 발생되었다. 이러한 토양호흡량의 계절적 변화와 지온의 변화의 회귀분석결과 $r^2 = 0.93$ 으로 높은 상관값을 보였으며(Fig. 4) 지온 변화에 대한 토양호흡의 민감도(Q_{10})값은 4.2로

이러한 Q_{10} 값은 Xu and Qi(2001)가 고찰한 1.3-5.6과 Davidson *et al.*(1998)이 고찰한 3.4-5.6과 유사한 값을 보였다.

3.4. 토양호흡과 리터 분해와의 관계

리터의 분해속도는 월 평균 지온이 0.7°C로 가장 낮은 1월과 2월에 $0.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 이었고, 이 기간의 토양호흡량은 $7.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 조사기간 중 가장 낮은 값을 보였다. 동계에서 하계로의 계절변화에 따른 지온 상승과 함께 토양호흡도 증가하는 일반적인 경향을 보였으며, 월평균 지온이 15.2°C에 이르는 5-6 월에는 $81.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 3월과 4월에 비해 약 4.6배 증가하였다. 리터 분해속도도 지온 상승과 함께 증가하여 5월과 6월 리터의 월평균 분해량은 $3.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 3-4월에 비해 약 2배 증가하였으나, 토양호흡에 기여하는 리터의 분해 비율은 오히려 상대적으로 가장 낮은 약 4.3%로 나타났다(Fig. 5). 리터 분해량이 토양호흡에서 차지하는 비율이 낮아지는 이러한 경향은 춘계에서 하계에 이를수록 식물 지하부의 활성이 급격히 증가되며, 그로인해 토양호흡의 주요 기원이 토양의 유기물로부터 식물 지하부로 변화되는 것이 가장 큰 원인으로 생각된다. 이는 뿌리의 활성 상태가 토양호흡의 변화에 대단히

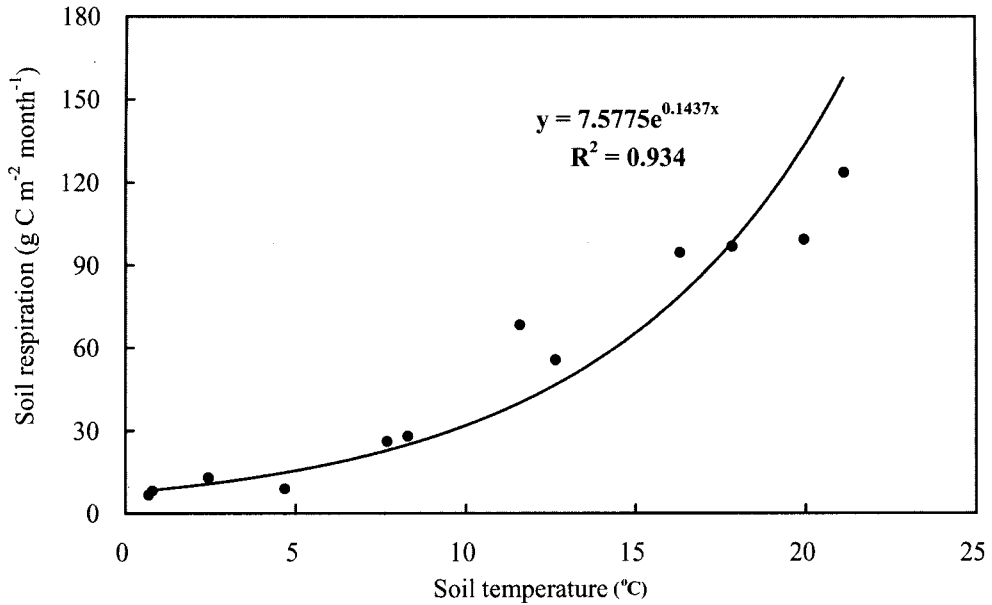


Fig. 4. Variation of soil respiration with soil temperature at the Gwangneung-DK site.

중요한 변수로 작용한다는 사실을 뒷받침 해주는 결과이며, 또한 뿌리의 생물량 증가와 함께 토양호흡량이 증가하여 뿌리호흡이 전체 토양호흡량의 40%에 해당한다고 보고한 Kucera and Kirkham(1971)의 연구결

과, 70%까지 차지한다고 보고한 Chapman(1979)의 연구 결과와 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

7월과 8월에는 1월과 2월에 비해 리터 분해속도가 약 14배 증가하여 11.4g C m⁻² month⁻¹로 가장 큰

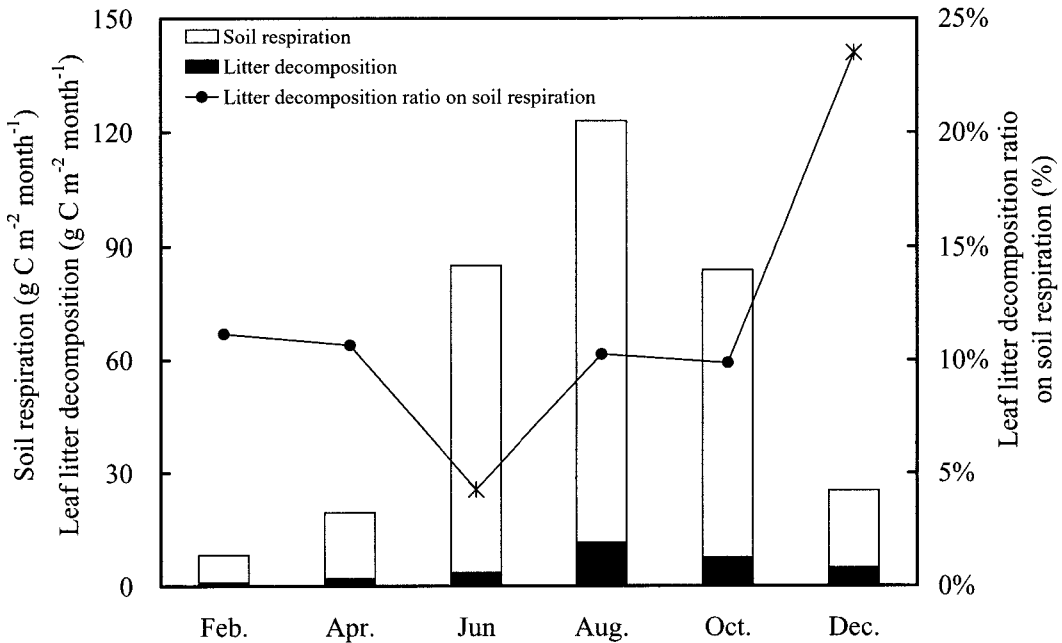


Fig. 5. Effect of litter decomposition rate on variation of soil respiration with soil respiration at the Gwangneung-DK site in 2004.

값을 보였고, 또한 토양호흡속도도 약 15배 증가한 $111.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 보였다. 월 평균 지온이 15.2°C 로 감소하기 시작하는 9-10월의 토양호흡량은 약 $76.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 이었으며 이 중 리터 분해가 차지하는 비율은 $7.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 약 9.9%였다. 한편 11-12월은 지온이 5.4°C 까지 감소하여 토양호흡량은 $20.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 9-10월에 비해 약 73%가 감소하였지만 토양호흡 중 리터의 분해량($4.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ month}^{-1}$)이 차지하는 비율은 2배 이상 증가하였다. 이는 11-12월 리터의 생산량이 증가하는 시기와 일치하였다.

토양호흡과 리터 분해의 계절적 추이는 지온의 변화와 높은 상관성을 나타내는 계절변화 형태를 보였으며, 이러한 경향은 리터 분해 형태에서보다 토양호흡에서보다 더 명확히 확인할 수 있었다(Fig. 6). 이러한 리터분해와 토양호흡의 온도변화에 대한 높은 상관성은 토양호흡에 관련된 많은 연구결과에서 보고되어온 결과들과 일치하는 결과이며, 본 조사지의 임상이 토양호흡의 일반적 경향에 포함된 곳임을 보여주는 것이다(Witkamp 1969, Son and Kim 1996, McHale et al. 1998, Knapp et al. 1998).

2003년 낙엽과 낙지로 공급된 리터는 $147.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었으며, 위와 같은 토양호흡과 리터분해의

계절적 변화의 결과, 2004년에 분해된 전년도 리터량은 $30.0 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 이는 연간 토양호흡량($629.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)에서 전년도에 공급된 리터의 분해 부분이 차지하는 비율로 환산하면 약 5%에 해당되는 양이다. 이러한 수치가 다음 연도에 어떠한 수치로 변화되는지를 추적하여 그 누적치를 계산한다면 리터의 공급량과 분해량이 토양호흡에 기여하는 관계를 명확히 밝힐 수 있으며 또한, 그를 통해 토양호흡을 식물 지하부 기원과 토양 유기물 기원으로 정량하는데 이용할 수 있으리라 기대한다. 이러한 관점에서 분석한 토양호흡의 계절적 변이에 대한 리터 분해속도의 회귀 분석결과 리터 분해속도와 토양호흡과는 $r^2 = 0.63$ 로 비교적 높은 상관관계를 가지고 있었을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 본 연구 방법을 통하여 식물 지하부 기원의 호흡과 토양 유기물 기원의 호흡에 대한 각각의 정량에 가능성에 기대를 걸게 한다(Fig. 7).

한편, 본 조사에서는 리터의 분해 그 자체가 실제로 토양호흡에 기여하는 부분에 초점이 맞추어졌으나, 토양표면의 축적된 리터로 인한 토양표면의 건조 방지와 같은 토양수분 환경에의 영향 또한 평가해야할 부분으로 생각된다. 이는 Lee and Mun(2001)이 보고한 낙엽의 지속적 제거에 의한 낙엽층의 부재로 인한 수분

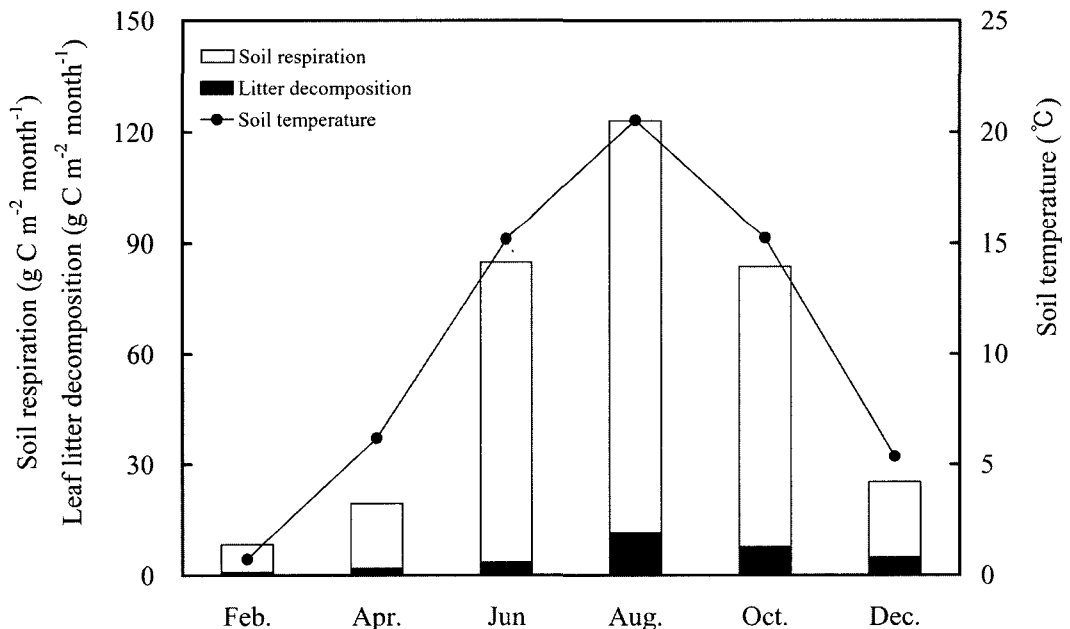


Fig. 6. Leaf litter decomposition ratio on soil respiration at the Gwangneung-DK site in 2004.

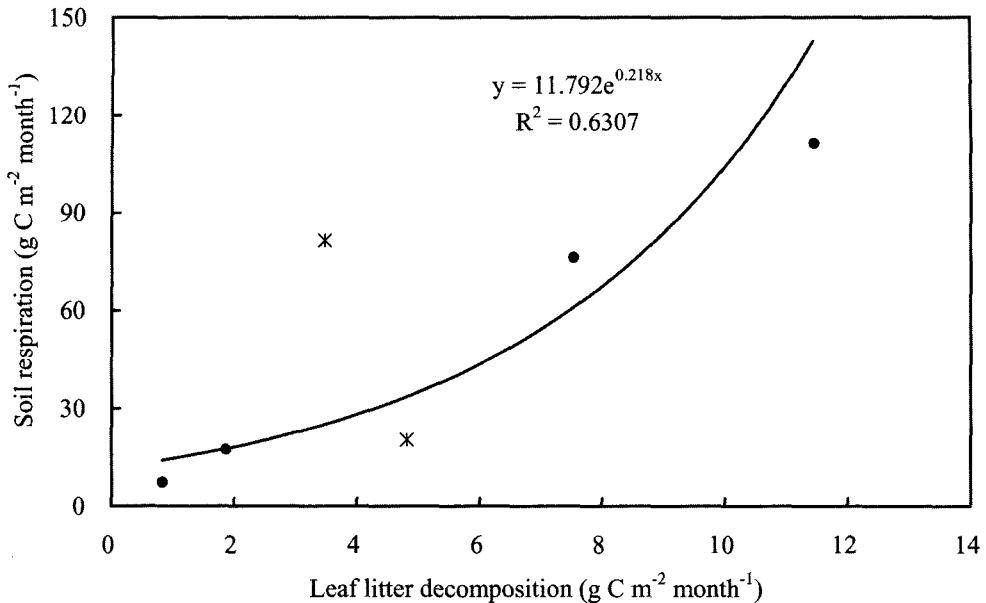


Fig. 7. Regression analysis of soil respiration and litter decomposition rate at the Gwangneung-DK site in 2004.

소실과 토양 미생물 활성의 저하가 토양호흡량의 감소를 초래하였다는 연구결과에서와 같이 낙엽이 토양호흡에 적합한 물리화학적 환경요인을 유지시켜 인자이기 때문이다.

IV. 적 요

토양은 리터의 축적, 분해, 뿌리호흡을 포함하는 토양호흡을 통해 많은 양의 탄소를 저장 또는 방출할 수 있다. 이러한 토양의 주요한 탄소 및 양분의 공급원은 낙엽낙지의 유입과 유입된 낙엽낙지의 분해이며 생태계로 돌아가는 영양의 약 60%가 낙엽에서 유래되는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 목적은 천연자연림으로 잘 보존된 경기도 광릉시험림의 온대낙엽활엽수림의 리터 생산량과 분해속도가 토양호흡의 계절적 변이에 미치는 영향을 파악하고 낙엽층과 토양호흡간의 관련성을 찾아 생태계에서의 탄소순환을 이해하기 위한 것이다. 광릉 낙엽활엽수림에서 2003년 생산된 리터의 총량은 148g C m⁻² yr⁻¹이었으며 조사지의 우점종인 졸참나무, 서어나무, 까치박달의 순수 낙엽의 총량은 118g C m⁻² yr⁻¹이었다. 낙엽의 분해율은 조사기간인 1년 동안 졸참나무는 24.2%($k=0.28$), 서어나무는 25.7%($k=0.30$), 까치박달은 33.0%($k=0.46$)이었다. AOCC를 이용한 연속적인 토양호흡 측정결과 연간

토양호흡량은 629.6g C m⁻² yr⁻¹이었으며 이 중 리터 분해가 차지하는 비율은 약 5%인 30g C m⁻² yr⁻¹이었다. 토양호흡의 동절기 최저값은 7.4±1.4g C m⁻² month⁻¹이었으며 이 시기의 리터 분해속도도 0.8g C m⁻² month⁻¹로 최저값을 나타내었다. 하절기에는 토양호흡과 리터 분해속도 모두 증가하여 111.5±16.2g C m⁻² month⁻¹와 11.4g C m⁻² month⁻¹로 최고값을 보였다. 토양호흡 중 리터 분해속도가 차지하는 비율은 식물 지하부의 생장이 활발해지는 5-6월에는 4.3%로 감소하였으며 리터의 생산량이 증가하는 11-12월에는 23.5%로 증가하였다. 회귀분석결과 리터 분해속도와 토양호흡과는 $r^2=0.63$ 의 상관관계를 가지고 있었다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)”의 지원을 받아 수행되었다.

인용문헌

- Agren, G. L., R. E. McMurtrie, W. J. Parton, J. Pastor and H. H. Shugart, 1991: State-of-the-art of model of production-decomposition linkage in conifer and grassland ecosystems. *Ecological Applications* 1, 49-53.
- Baldocchi, D. D., C. A. Vogel, and B. Hall, 1997: Seasonal

- variation of carbon dioxide exchange rates above and below a boreal jack pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **83**, 147-170.
- Bowden, R. D., K. J. Nadelhoffer, R. D. Boone, J. M. Melillo and J. B. Garrison, 1993: Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 1402-1407.
- Brinson, M. M., A. E. Lugo and S. Brown, 1981: Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **12**, 123-161.
- Buchmann, N., 2000: Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry* **32**, 1625-1635.
- Chapman, S. B. 1979: Some interrelationship between soil and root respiration in lowland calluna heathland in southern England. *Ecology* **67**, 1-20.
- Davidson, E. A., 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.
- Edwards, N. T. and W. F. Harris, 1977: Carbon cycling in a mixed deciduous forest floor. *Ecology* **58**, 431-437.
- Ewel, K. C., W. P. Jr. Cropper and H. L. Gholz, 1987: Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations : . Changes through time. *Canadian Journal of Forest Research* **17**, 325-329.
- Garrett, H. E. and G. S. Cox, 1973: Carbon dioxide efflux from the floor of an oak-hickory forest. *Soil Science of America Journal* **37**, 641-644.
- Goulden, M. L., S. C. Wofsy, J. W. Harden, *et al.*, 1998: Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science* **279**, 214-217.
- Hobbie, S. E., 1996: Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecological Monographs* **66**, 503-522.
- Hunt, J. E., F. M. Kelliher, T. M. McSeveny and J. N. Byer, 2002: Evaporation and carbon dioxide exchange between the atmosphere and a tussock grassland during a summer drought. *Agricultural and Forest Meteorology* **111**, 65-83.
- IPCC, 2001: A Report of working group of the intergovernmental panel on climate change, climate change 2001. The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge.
- IGBP, 1998: Terrestrial carbon working group. The terrestrial carbon cycle. Implications for the Kyoto protocol. *Science* **280**, 1393-1394.
- Kim C. S., 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.
- Knapp, A. K., S. L. Conard and J. M. Blair, 1998: Determination of soil CO₂ flux from a subhumid grassland: Effects of fire and fire history. *Ecological Application* **4**, 760-770.
- Kucera, C. L. and D. R. Kirkham, 1971: Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology* **52**, 912-915.
- Lim, J.-H., J. H. Shin and J. S. Oh, 2002: Ecological site characteristics and carbon pools of the Kwangneung deciduous old growth natural forest, Korea. Proceedings of the 2nd International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation. Seogwipo, Korea, 57p.
- Lee, Y. Y. and H. T. Mun, 2001: A study on the soil respiration in a *Quercus acutissima* forest, *Korean J. Ecol.* **24**(3), 141-147.
- McHale, P. J., M. J. Mitchell and F. P. Bowles, 1998: Soil warming in a northern hardwood forest: trace gas fluxes and leaf litter decomposition. *Can. J. For. Res.* **28**, 1365-1372.
- Oh, J. S., J. H. Shin and J.-H. Lim, 2000: Long-term ecological research programme in Forestry Research Institute, Korea. *The Korean Journal of Ecology* **23**(2), 131-134.
- 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.
- Rosenzweig, C. and D. Hillel, 1998: Climate change and the global harvest. Potential impacts of the greenhouse effect on agriculture. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Scott-Denton, L. E., K. L. Sparks and R. K. Monson, 2003: Spatial and temporal controls of soil respiration rate in a high-elevation, subalpine forest. *Soil Biology and Biochemistry* **35**, 525-534.
- Son, Yow-Han, G. L. Lee and J. Y. H., 1994: Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantations. *Korean J. Soil Sci. Fert.* **27**, 290-295.
- Son, Y. H. and H. W. Kim. 1996: Soil respiration in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantation. *J. Kor. For. Soc.* **85**, 496-505.
- Waring, R. H. and S. W. Running, 1998: Forest ecosystem. Analysis at multiple scale. Academic press 67.
- Witkamp, M. 1969: Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from forest floor. *Ecology* **47**, 492-494.
- Xu, M. and Y. Qi, 2001: Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa in northern California. *Global Change Biology* **7**, 667-677.
- Yi, Myong-Jong, 2003: Soil CO₂ evolution in *Quercus variabilis* and *Q. mongolica* forests in Chunchon, Kangwon Province. *Jour. Korean For. Soc.* **92**(3), 263-269.
- You, Young-Han, N. G. Jeong, Y. Y. Lee, J. H. Kim, J. Y. Lee and H. T. Mun, 2000: Mass loss and nutrients dynamics during the litter decomposition in Kwangneung experimental forest. *Jour. Korean For. Soc.* **89**(1), 41-48.