

## 경남 진주지역 소나무, 굴참나무 및 굴피나무림의 토양호흡에 관한 연구

문 현 식\*

경상대학교 산림과학부 농업생명과학연구원

**적 요:** 경남 진주시 월아산 근린공원의 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림에서 KOH 흡수법을 이용하여 2003년 3월부터 11월까지 토양호흡량을 측정하였다. 조사기간 동안 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림의 평균 토양온도는 각각 16.2, 17.1, 17.6°C, 토양습도는 25.1, 24.3, 25.1%이었다. 전 조사임분에서 토양호흡량은 하절기에 증가한 후 동절기에 감소하는 경향을 보여 토양온도와 높은 정의 상관관계가 있었으나, 토양수분과는 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다. 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림에서 조사기간 동안의 토양호흡량은 각각 0.12~0.77, 0.23~1.37 및 0.30~1.47 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup>의 범위였으며, 연평균 토양호흡량은 소나무림 0.43, 굴참나무림 0.80, 그리고 굴피나무림이 0.90 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup>이었다. 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림의 Q<sub>10</sub> 값은 각각 2.38, 2.11, 2.07로 나타났다. 산림토양으로부터 대기 중으로 방출되는 연간 총 토양호흡량은 소나무림 24, 굴참나무림 49.3, 굴피나무림 55.3 t CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · yr<sup>-1</sup>으로 낙엽활엽수인 굴참나무림과 굴피나무림이 침엽수인 소나무림보다 2배 이상 높게 나타났다.

**검색어:** 굴참나무림, 굴피나무림, 소나무림, 토양온도, 토양호흡량

### 서 론

산림생태계에 있어서 토양과 식물간에는 끊임없는 물질순환이 이루어지고 있다. 지상부의 식생으로부터 토양에 공급된 낙엽·낙지 등과 같은 유기물은 토양중의 미생물에 의해 분해되어 식물체가 이용할 수 있는 형태의 무기물로 변화한다. 유기물의 50% 정도를 차지하고 있는 탄소는 토양미생물에 의해 최종적으로 CO<sub>2</sub>로 분해되고 식물 뿌리의 호흡에 의해 생성되는 CO<sub>2</sub>와 함께 대기 중으로 방출된다. 토양호흡을 통해 산림토양으로부터 대기로 방출되는 이산화탄소는 지구적인 규모의 탄소순환에서 중요한 부분을 차지하고 있으며(Raich and Schlesinger 1992, IPCC 1996), 탄소의 저장고이기도 하다. 산림토양에 있어서 이산화탄소의 발생원은 다양한 토양미생물과 식물 뿌리의 호흡에 의한 것으로, 토양미생물에 의한 토양호흡은 유기물 분해와 식물체로의 영양염류 공급의 기본이 되는 것이다(Nakane 1995). 또한, 토양미생물에 의한 토양호흡량은 토양미생물의 활성 정도를 나타내는 지표로서 뿐만 아니라 토양생산성과도 밀접한 관계가 있는 지수로서도 취급되고 있다(Landsberg and Gower 1997).

국내에서도 최근 토양호흡에 관한 연구가 많이 이루어지고 있으나(Son *et al.* 1994, 이와 문 2001, Moon *et al.* 2001, 이 2003), 이들 연구는 임분이나 군락에 따른 토양호흡량 비교와 토양호흡에 영향을 미친다고 알려져 있는 환경요인에 관한 것이 대부분이었다. 토양호흡은 수종뿐만 아니라 입지, 환경에 의해서도 많은 영향을 받으므로 동일 수종이라 하더라도 산림생태계의 탄소순환을 이해하고 입지나 환경조건에 의한 차이를 구명하기

위해서도 보다 광범위한 연구가 필요한 실정이다. 또한 CO<sub>2</sub> 발생원이 무엇이든 관계없이 토양온도와 수분과 같은 기후인자가 CO<sub>2</sub> 발생에 많은 영향을 미치므로, 토양온도와 토양습도와 같은 토양환경인자의 영향을 파악하는 것도 매우 중요하다(Fernandez *et al.* 1993)

본 연구는 동일한 입지조건이라 판단되는 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림을 대상으로, 각 조사 임분의 토양호흡량을 측정하여 수종에 따른 호흡량의 비교·분석 및 토양호흡량에 대한 토양온도와 토양수분의 영향을 파악하고, 연간 토양호흡량을 추정하기 위하여 수행되었다.

### 재료 및 방법

#### 조사지 개황

본 연구의 조사대상 지역은 행정구역상으로 경남 진주시 문산면, 금산면, 진성면에 걸쳐 있는 월아산(408 m)을 대상으로 실시하였다. 월아산의 대표 군락이며, 비교적 교란이 적고 보전 상태가 양호한 소나무림(*Pinus densiflora* stand), 굴참나무림(*Quercus variabilis* stand), 굴피나무림(*Platycarya strobilacea* stand)을 대상으로 시험구를 설정하였다. 이 지역의 식생구조와 식물상은 노 등(2001), 문 등(2003)에 의해 보고된 바 있다. 조사지 모두 출현하는 식물종은 많지 않았다. 주요 하층식생은 소나무 군락에서 국수나무(*Stephanandra incisa*), 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 굴참나무 군락에서 국수나무, 때죽나무(*Styrax japonica*), 굴피나무 군락에서 노린재나무(*Symplocos chinensis* for. *pilosa*), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum* var. *intermedium*) 등이었다.

\* Corresponding author; Phone: 82-55-751-5494, e-mail: hsmoon@nongae.gsnu.ac.kr

이 지역의 최근 10년간의 연평균기온과 강수량은 13.1°C, 1457.9 mm로 나타났다. 3개 조사지에 대한 개황과 일반적인 토양특성은 Table 1, 2와 같다.

토양호흡

토양호흡을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 측정이 비교적 간편할 뿐만 아니라 조사시간의 상대적인 비교가 가능한 KOH 흡수법(Kirita 1971)을 사용하였다. 본 연구에 사용한 CO<sub>2</sub> chamber는 직경 15 cm, 높이 22 cm인 PVC관을 이용하여 한 조사지에 7개씩을 설치하였다. 설치시 낙엽층은 모두 제거하였으며 25 ml의 KOH 액을 처리한 sponge를 chamber 내에 두고, 24시간 후에 회수하여 실험실로 운반한 후 페놀프탈레인과 메틸오렌지를 지시약으로 이용하여 적정하였다. 조사는 2003년 3월부터 11월까지 매월 중순경 한 달에 한 번 현장조사를 실시하였다.

토양온도와 토양수분

토양온도는 Thermo Recorder(TR-71, T AND D)를 이용하여 지표로부터 5 cm 깊이에 묻어 조사시간 동안 1시간 간격으로 측정하였다. 또한, 토양수분은 각 조사지에서 매월 7개의 토양을 채취하여 밀봉한 후 실험실로 운반하여 105°C에서 건중량이 일정해질 때까지 건조시켜 토양 내 함수율을 측정하였다. 그리고, 동절기에 해당하는 12월부터 2월까지의 토양온도는 동일한 방법으로 측정하였으나 토양수분은 측정하지 않았다.

Table 1. Stand characteristics of three study sites

Parameter	Study site		
	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus variabilis</i>	<i>Platycarya strobilacea</i>
Aspect	N	N	SE
Slope(°)	5~8	6~10	3~5
Stand age(yr)	45	36	35
No. of tree/ha	850	525	700
Tree height(m)	14	15	13
DBH(cm)	31	34	21

Table 2. Soil properties of three study sites

Study site	pH (H <sub>2</sub> O)	O.M. (%)	T.N. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Exch. (me/100g)			
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
<i>Pinus densiflora</i>	4.8	2.45	0.15	15.4	0.59	0.23	0.14	0.2
<i>Quercus variabilis</i>	5.4	4.26	0.29	37.1	1.18	0.56	0.45	0.4
<i>Platycarya strobilacea</i>	5.3	5.17	0.36	25.4	1.71	0.80	0.69	0.4

토양호흡에 영향을 미치는 환경요인인 토양온도와 토양수분에 대해서는 회귀분석을 이용하여 검정하였고, 모든 자료는 SAS 6.12(SAS institute 1999)를 이용하였다.

결과 및 고찰

각 조사지의 토양온도는 8월에 최대값을 나타낸 후 점차 감소하는 계절변화를 보이고 있으며 조사시간 동안 평균 토양온도는 소나무림 16.2°C 굴참나무림 17.1°C, 굴피나무림 17.6°C로 남동사면에 위치한 굴피나무림의 토양온도가 북사면의 소나무와 굴참나무림에 비해 조금 높게 나타났다(Fig. 1). 또한, 소나무림보다 굴참나무림의 토양온도가 다소 높게 나타난 것은 조사지의 입목밀도의 차이에 기인한 것으로 추정된다.

각 조사지의 토양함수율은 Fig. 2에 나타내었다. 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림의 조사기간 동안의 평균 토양함수율은 각각 25.1, 24.3, 25.1%로 나타났으나, 각 조사지의 토양함수율의 월별 변화 양상을 비교해 본 결과, 소나무림과 굴피나무림 간에는 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 조사지 모두 조사기간 동안 큰 폭의 변화는 없었다. 세 조사지 모두 평균 27% 전후의 토양함수율은 상수리나무림의 42%(이와 문 2001), 낙엽송인공림의 40~50%(손과 김 1996), 신갈나무림의 31%(이 2003)에 비하면 다소 낮은 수준이었으나, 진주지역의 아까시나무림(Moon et al. 2001)과는 유사한 수준이었다. 낙엽층의 함수율은 계절에 따라 크게 변화하지만, 무기광물토양의 함수율은 계절에 따라 큰 폭의 변화가 없다고 보고되고 있어(Nakane

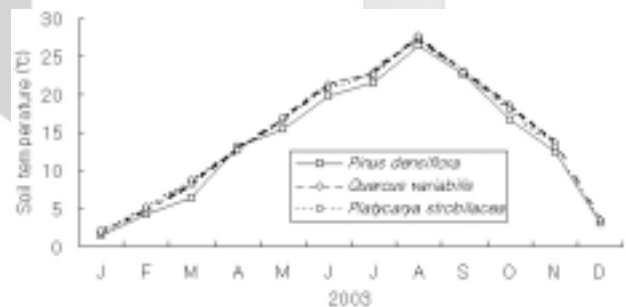


Fig. 1. Seasonal variation in soil temperature for the three study sites.

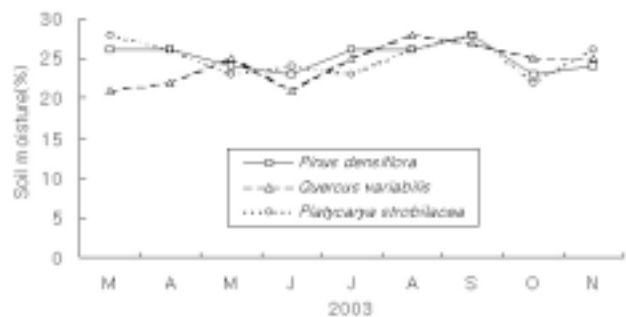


Fig. 2. Seasonal variation in soil moisture content for the three study sites.

1995), 본 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.

토양호흡량은 각 조사지 모두 토양온도의 계절변화와 매우 유사하여 임목의 생육개시기부터 점차 증가하여 7~8월에 최고치에 도달한 후 점차 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 토양호흡량이 토양온도의 변화와 매우 유사한 계절적 변화를 보이는 것은 기존의 다른 연구에서도 보고가 되고 있다(Davidson *et al.* 1998, Moon *et al.* 2001, 이 2003). 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림에서 조사기간 동안의 토양호흡량은 각각 0.12~0.77, 0.23~1.37 및 0.30~1.47 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup> 범위였으며, 토양호흡량의 월별 변화는 전 조사지에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다(*p*<0.01). 연평균 토양호흡량은 소나무림 0.43, 굴참나무림 0.80, 그리고 굴피나무림이 0.90 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup>으로 조사되어, 낙엽활엽수인 굴참나무림과 굴피나무림의 토양호흡량이 침엽수종인 소나무림보다 2배 정도 높게 나타났다. 소나무림의 연평균 토양호흡량은 손과 김(1996)의 리기다소나무와 낙엽송인공림보다 조금 높게 나타났으며, 굴참나무림과 굴피나무림의 토양호흡량은 이(2003)의 신갈나무와 굴참나무림, Moon 등(2001)의 아가시나무림의 토양호흡량보다 높은 경향을 나타내었다. 본 연구에서 나타난 토양호흡량은 온대지역의 여러 산림 생태계에서 측정하여 종합한 0.01~1.0 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup>의 범위에 있다는 Singh와 Gupta(1977)의 결과와 유사한 경향이였다.

세 조사지 모두 9월보다 토양온도가 낮은 6월의 토양호흡량이 높게 나타난 것은 주목할 만한 부분이다. 이와 같은 현상은 동계기간 동안 토양에 쌓여 있던 유기물이 임목생장 개시와 함께 지온이 점차 증가함에 따라 유기물이 토양미생물에 의해 분해되기 쉬운 형태로 존재하였기 때문으로 추정된다(Van Cleve *et al.* 1993).

본 연구에서 토양호흡량은 토양습수율과는 달리 토양온도의 변화와 매우 유사한 계절변화를 나타내었다(Fig. 1, 3). 토양호흡량과 토양온도의 관계에 대해서는 기존의 다른 연구에서도 모두 동일한 결과가 보고되고 있으나(Davidson *et al.* 1998, Moon *et al.* 2001), 토양습수율과 토양호흡량의 관계에 대해서는 연구에 따라 서로 다른 결과가 보고되고 있다. Schlentner와 Van Cleve(1985)는 토양온도가 10~20℃ 사이에서는 토양습수율이 토양호흡량에 영향을 미치는 주요한 인자라고 보고하였으나, 그

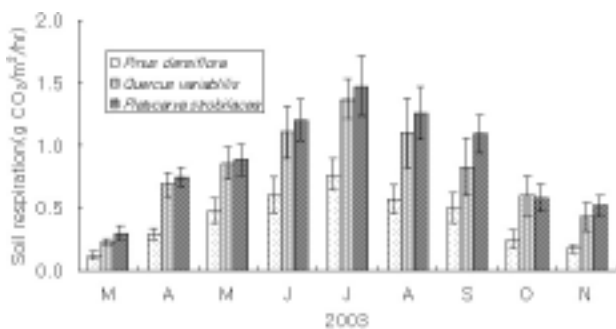


Fig. 3. Seasonal patterns of soil respiration rate(±SE) for the three study sites.

의 연구는 토양호흡량과 토양습수율 간에 어떠한 관련성도 없다는 결과를 보고하고 있다(Brindgham and Richardson 1992, Moon *et al.* 2001, 이 2003). 또한, Davidson 등(1998)은 온대활엽수림에서 토양수분 조건이 건조하거나 과다인 기간에는 토양호흡량이 감소하였다는 결과를 보고하고 있다. 토양습수율과 토양호흡량 간의 관련성에 대해서는 토양내 수분함량이 과다 혹은 과부족 상태가 아니면 토양호흡량에는 영향을 미치지 않는 것으로 추정된다.

토양호흡량과 토양온도와의 관계에 대해 본 조사에서는 지수함수를 이용한 회귀식을 적용하였다(Fig. 4). 소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림의 토양호흡량과 토양온도 간의 지수함수 회귀식의 상관계수는 각각 0.83, 0.81, 0.86으로 나타났다(Table 3, Fig. 4). 소나무림의 0.83는 황과 손(2002)의 리기다소나무림과 낙엽송림의 0.78, 0.83과 비슷한 수준이었다. 굴참나무림과 굴피나무림의 0.81, 0.86이라는 수치는 이와 문(2001)이 보고한 상수리나무림의 0.93보다는 낮았으나 이(2003)가 보고한 굴참나무와 신갈나무림의 0.77, 0.86과 비슷하게 나타났다.

토양호흡에서 Q<sub>10</sub> 값은 온도에 대한 미생물과 식물 뿌리의 호흡량에 의해 추정되는 수치로 Q<sub>10</sub> 값이 높다는 것은 온도변화에 대해 미생물과 식물 뿌리의 호흡량이 높아진다는 것을 의미한다. Davidson 등(1998)은 솔송나무림에서 낮은 Q<sub>10</sub> 값은 배수가 양호한 입지에서 그리고 높은 Q<sub>10</sub> 값은 습윤한 입지에서 관찰되었다고 보고한 바 있다. 즉 토양호흡에서 Q<sub>10</sub> 값은 온도뿐만 아니라 수분조건에 의해서도 영향을 받는다는 것을 알 수 있다

Table 3. Regression equation, R<sup>2</sup> and Q<sub>10</sub> values for the relationship between soil respiration and soil temperature

Study site	Equation	R <sup>2</sup>	Q <sub>10</sub>
<i>Pinus densiflora</i>	y = 0.0877e <sup>0.0868x</sup>	0.8308	2.38
<i>Quercus variabilis</i>	y = 0.01987e <sup>0.0749x</sup>	0.8066	2.11
<i>Platycarya strobilacea</i>	y = 0.2241e <sup>0.0729x</sup>	0.8593	2.07

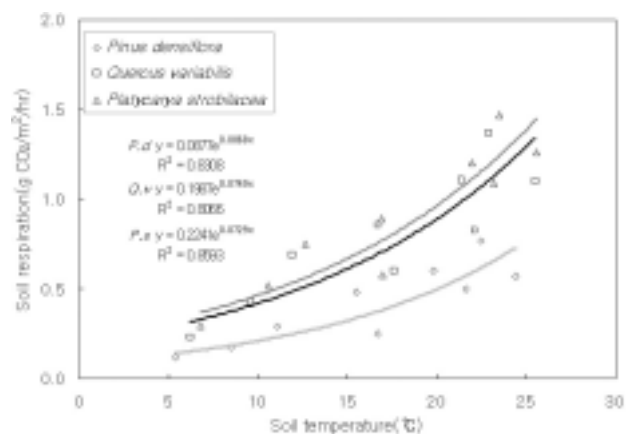


Fig. 4. The relationships between soil respiration rate and soil temperature for the three study sites.

(Lloyd and Taylor 1994). 본 조사에서는 지수회귀식(Fig. 4)을 이용하여  $Q_{10}$  값을 구하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 소나무림과 굴참나무림, 굴피나무림의  $Q_{10}$  값은 각각 2.38, 2.11, 2.07로 나타나 굴참나무림과 굴피나무림 간에는 큰 차이가 없었으나, 소나무림보다는 낮게 나타났다. 굴참나무림의  $Q_{10}$  값 2.11은 강원도 춘천지역 굴참나무림의 3.9, 4.0과 신갈나무림의 5.3(이 2003)보다 낮게 나타났으며, 소나무림의 2.38은 리기다소나무림과 낙엽송림의 7.8과 15.4(황과 손 2002)보다도 아주 낮게 나타났다. 본 조사에서 얻어진  $Q_{10}$  값은 Moon 등(2001)의 진주지역의 아까시나무림보다는 다소 높게 나타났다. 이와 같이 동일 수종 임분에서의  $Q_{10}$  값의 차이가 많이 나타난 것에 대해서는 측정방법이나 조사지의 입지조건에 의한 영향도 있을 것으로 생각되나 각 조사지별로 토양호흡 전체에 대해 식물 뿌리가 차지하는 비율 등을 파악하는 등 추후 보다 직접적인 원인이 밝혀져야 할 것이다.

각 조사지에 대한 연간 토양호흡량을 지수회귀식을 이용하여 추정하였다. 일반적으로 산림토양으로부터 대기로 방출되는  $CO_2$ 는 겨울철에도 지속적으로 발생하지만(Sommerfeld *et al.* 1993), 현장에서의 측정이 불가능하여 여름철  $CO_2$  발생량의 절반으로 가정하거나(Bowden *et al.* 1993) 이른봄이나 늦가을의  $CO_2$  발생량과 동일한 것으로 가정하여 연간 토양호흡량을 산출하고 있다(Ellert and Gregorich 1995, 이 2003). 하지만, 본 연구에서는 현장에서 토양호흡량 측정 조사를 하지 않은 겨울철(12~2월)에도 토양온도계를 이용하여 토양온도를 측정하였으며, 토양온도와 토양호흡량 간에 높은 정의 상관관계가 나타났기 때문에 토양온도를 이용하여 지수회귀식으로 각 조사지의 연간  $CO_2$  방출량을 추정하였다(Table 4).

소나무림, 굴참나무림, 굴피나무림의 연간 토양호흡량은 각각 24.0, 49.3, 55.3 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ 이었다(Table 4). 굴참나무 군락의 토양호흡량은 IRGA 방법으로 측정한 경기도 춘천지역의 굴참나무림의 32.5, 34.9와 신갈나무림 34.2 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ (이 2003)에 비해 아주 높게 나타났으나, 충남 공주지역의 상수리나무림의 68.6 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ (이와 문 2001)보다는 낮게 나타났

다. 또한, 소나무림의 연간 토양호흡량도 손과 김(1996)의 경기도 양평의 리기다소나무림 26.8과 낙엽송림 23.7 t  $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ 과는 유사한 경향이었으나, 일본의 40년생 소나무림의 연간 토양호흡량 3.6 kg  $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ (Nakane 1995)보다는 낮았으며, Raich와 Nadelhoffer(1989)가 보고한 전 세계 침엽수림의 토양호흡량 1.0~4.6 kg  $CO_2 \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ 의 범위 내에 있다는 것을 알 수 있다. 굴참나무림과 굴피나무림의 연간 토양호흡량은 본 연구대상지와 거의 비슷한 곳에 위치하고 있는 진주 지역 아까시나무림의 연간 토양호흡량(Moon *et al.* 2001)보다는 아주 높게 나타났다. 본 연구대상지인 굴참나무림과 굴피나무림의 연간 토양호흡량이 다른 지역의 굴참나무림, 상수리나무림, 신갈나무림의 결과와 다소 차이가 나타나는 것은 Nay 등(1994)의 KOH 흡수법은 다른 방법에 비해 토양호흡량이 과소 측정된다는 보고와 같이 서로 다른 측정방법과 지역적인 특성으로 인한 토양온도의 차이 등으로 어느 정도 설명할 수 있으나, 침엽수종인 소나무림의 경우 토양온도는 다른 조사 지역보다 높는데 연간 토양호흡량에 있어서 큰 차이가 나타나지 않은 것은 토양온도 외에 다른 요인이 작용한 것으로 생각되나, 본 연구에서는 그 원인을 구명할 수 없었다. 추후 보다 상세한 연구가 필요하다고 사료된다.

Raich와 Nadelhoffer(1989)는 토양호흡량과 지상부 식생으로부터 유입되는 낙엽량 간의 관계에 대해 이들 간에 통계적으로 유의한 정의 상관관계가 있음을 밝힌 바 있고, 김(1996)은 지상부에서 공급되는 유기물량의 차이가 토양호흡량 차이를 가져올 수 있다고 보고한 바 있다. 이러한 연구결과들은 토양미생물의 분해 대상이 낙엽층이나 산림토양 내의 유기물이라는 것을 고려하면 유기물의 양과 성질이 토양호흡에 영향을 미칠 수 있다는 연구결과(Bridgham and Richardson 1992)와도 그 내용이 일치한다고 볼 수 있을 것이다.

산림토양으로부터 대기로 방출되는 이산화탄소의 양은 수종, 입지조건, 토양환경 등에 따라 차이가 있는 것으로 보고되고 있다(Ellert and Gregorich 1995). 또한, Son 등(1994)은 경기도 광릉의 토양, 방위 및 고도 등이 비슷한 입지에 식재된 활엽수림(*Liriodendron tulipifera*, *Populus alba* × *P. glandulosa*, *Quercus rubra*) 하의 토양호흡량에 차이가 있음을 보고한 바 있다. 본 연구도 토양 및 입지조건이 유사한 곳을 연구대상 임분으로 하였다. 침엽수종인 소나무림과 낙엽활엽수종인 굴참나무와 굴피나무림의 토양호흡량에 차이가 나타나는 것은 입지의 차이가 아닌 수종의 차이에 따른 결과인 것으로 추정된다.

본 조사에서 측정한 각 조사지의 유기물 및 전질소 함량에는 차이가 있는 것으로 나타나고 있다(Table 2) 소나무림의 유기물과 전질소 함량이 조사지 중에서 가장 낮게 나타났다. 침엽수종인 소나무림의 토양호흡량이 가장 낮게 나타난 것은 적은 에너지원과 낮은 토양 pH에 기인하는 것으로 추정된다. 굴피나무림의 토양 중 유기물과 전질소 함량이 굴참나무림보다 다소 높게 나타났으며, 또한 토양호흡량도 굴피나무림이 굴참나무림보다 높게 나타났다. 하지만, 낙엽활엽수종인 굴참나무와 굴피나무림 간의 토양호흡량에 차이가 나타난 것이 단순히 유기물과 전질

Table 4. Annual total soil respiration rates for the three study sites

Study site	Annual respiration (t/ha/yr)	Method	Remarks
<i>Pinus densiflora</i>	24.0	KOH	Moon(present study)
<i>Quercus variabilis</i>	49.3	"	"
<i>Platycarya strobilacea</i>	55.3	"	"
<i>Quercus variabilis</i> ( I )	32.5	IRGA	Lee(2003)
<i>Q. variabilis</i> ( III )	34.9	"	"
<i>Q. mongolica</i>	34.2	"	"
<i>Q. acutissima</i>	68.6	Gas analyzer	Lee and Mun(2001)
<i>Pinus rigida</i>	26.8	Soda lime	Son and Kim(1996)
<i>Larix leptolepis</i>	23.7	"	"

소 함량의 차이에 의한 것인지 본 연구에서는 밝힐 수 없었다. Meentemeyer(1978)와 Melillo 등(1982)은 산림토양 내 미생물의 활동 정도는 탄수화물이나 질소의 양 또는 이들 간의 C/N비보다는 유기물 내 lignin의 함량 또는 lignin과 질소의 비와 같은 다른 인자에 의해 크게 영향을 받는다고 보고하였다. 그러므로 토양 호흡에 영향을 미치는 인자에 대해 토양온도와 토양수분 뿐만 아니라 연구대상 수종의 지상부와 지하부 유기물 공급에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다. 또한, 토양호흡은 식물 뿌리의 호흡에 의해서도 발생하므로 보다 정확한 토양호흡량을 측정하기 위해서는 대상입지별로 각 수종의 생리적 특성이나 뿌리에 의한 호흡량을 산출하는 등 다른 요인들에 대해서도 추후 연구가 필요하다고 사료된다.

#### 인용문헌

- 김종성. 1996. 양평지역 리기다소나무, 낙엽송, 졸참나무림의 물 질생산과 질소 및 인의 분포에 관한 연구. 고려대학교 박사 학위논문.
- 노일, 조현남, 박우진, 문현식. 2001. 월아산 근린공원의 식생구조와 동태. 경상대학교 연습림연구보고 11: 31-42.
- 문현식, 노일, 조현남. 2003. 월아산 지역의 관속식물상에 관한 연구. 경상대학교 농업생명과학연구 37(4): 77-83.
- 손요환, 김현우. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지내 토양발생 이산화탄소에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 496-505.
- 이명중. 2003. 강원도춘천지역의 굴참나무림과 신갈나무림내 토양 CO<sub>2</sub>의 발생. 한국임학회지 92(3): 263-269.
- 이윤영, 문형태. 2001. 상수리나무림의 토양호흡에 관한 연구. 한국생태학회지 24(3): 141-147.
- 황재홍, 손요환. 2002. 리기다소나무와 낙엽송 임분에서 간벌, 석회시비 및 낙엽층 처리가 토양발생 이산화탄소 및 낙엽 분해에 미치는 영향. 한국임학회지 91(4): 471-479.
- Bowden, K.D., K.J. Nadelhoffer, R.D. Boone, J.M. Melillo and J.B. Garrison. 1993. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Can. J. For. Res. 23: 1402-1407.
- Bridgham, S.D. and C.J. Richardson. 1992. Mechanisms controlling soil respiration (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) in southern peatlands. Soil Biol. Biochem. 24: 1089-1099.
- 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 Biol. 4: 217-227.
- Ellert, B.H. and E.G. Gregorich. 1995. Management-induced changes in the actively cycling fraction of soil organic matter. In W.W. Mcfee and J.M. Kellg, (eds). Carbon Forms and Functions in Forest Soil. Soil Sci. Soc. Am., pp. 119-138.
- Fernandez, I.J., Y.Son, C.R. Kraske, L.E. Rustad and M.B. David. 1993. Soil carbon dioxide characteristics under different forest types and after harvest. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 1115-1121.
- IPCC. 1996. Climate change 1995. Cambridge University Press. Cambridge. 572 p.
- Kirita, H. 1971. Re-examination of the absorption method of measuring soil respiration under field conditions. II. Effect of the size of the apparatus on CO<sub>2</sub> absorption rates. Jap. J. Ecol. 27: 37-47.
- Landsberg, J.J. and S.T. Gower. 1997. Application of physiological ecology to forest management. Academic Press. New York. 354 p.
- Lloyd, J. and J.A. Taylor. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. Func. Ecology 8: 315-323.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition. Ecology 59: 465-472.
- Melillo, J.M., J.D. Aber and J.F. Muratore. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology 63: 621-626.
- Moon, H.S., S.Y. Jung and S.C. Hong. 2001. Rate of soil respiration at black locust(*Robinia pseudo-acacia*) stands in Jinju area. Korean J. Ecol. 24(6): 371-376.
- Nakane, K. 1995. Soil carbon cycling in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation. For. Ecol. Manage. 72: 185-197.
- Nay, S.M., K.G. Mattson and B.T. Bormann. 1994. Biases of chamber methods for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux demonstrated with a laboratory apparatus. Ecology 75: 2460-2463.
- Raich, J.W. and K.J. Nadelhoffer. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. Ecology 70: 1346-1354.
- 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.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's Guide. 6.12ed. SAS institute Inc., Cary. NC.
- Schlentner, R.E. and K. Van Cleve. 1985. Relationships between CO<sub>2</sub> evolution from soil, substrate temperature, and substrate moisture in four mature forest types in interior Alaska. Can. J. For. Res. 15: 97-106.
- Singh, J.S. and S.R. Gupta. 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. Bot. Rev. 43: 449-528.
- Sommerfeld, R.A., A.R. Mosier and R.C. Musselman. 1993. CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O flux through a Wyoming snowpack and implications for global budgets. Nature 361: 140-142.
- Son, Y., G. Lee and J.Y. Hong. 1994. Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantation. Kor. J. Soil Sci. Fert. 27(4):

290-295.

Van Cleve, K. J. Yarie and R. Erickson. 1993. Nitrogen mineralization and nitrification in successional ecosystems on the

Tanana River floodplain, interior Alaska. Can. J. For. Res. 23: 970-978.

(2004년 2월 22일 접수; 2004년 3월 8일 채택)

---

## Soil Respiration in *Pinus densiflora*, *Quercus variabilis* and *Platycarya strobilacea* Stands in Jinju, Gyeongnam Province

Moon, Hyun-Shik

*Institute of Agriculture and Life Sciences, Division of Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

**ABSTRACT** : Soil respiration rate was measured from March to November 2003 using the KOH absorption method in *Pinus densiflora*, *Quercus variabilis*, *Platycarya strobilacea* stands in Jinju, Gyeongnam Province. Throughout the study period, average soil temperature and moisture content were 16.2°C, 25.1% for *P. densiflora* stand, 17.1°C, 24.3% for *Q. variabilis* stand, and 17.6°C, 25.1% for *P. strobilacea* stand, respectively. The seasonal fluctuations of soil respiration rate increasing in summer and decreasing in winter, which there were strong positive correlations of soil respiration and soil temperature in all study stands. However, there were no significant correlations between soil moisture and soil respiration. Soil respiration rates throughout the study period ranged from 0.12 to 0.77 for *P. densiflora* stand, 0.23 to 1.37 for *Q. variabilis* stand, and 0.30 to 1.47 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup> for *P. strobilacea* stand, respectively. Mean soil respiration rates in *P. densiflora*, *Q. variabilis*, *P. strobilacea* stands were 0.43, 0.80, and 0.90 g CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · hr<sup>-1</sup>, respectively. The Q<sub>10</sub> values were 2.38 for *P. densiflora* stand, 2.11 for *Q. variabilis* stand, and 2.07 for *P. strobilacea* stand. Annual total soil respiration was 24 for *P. densiflora* stand, 49.3 for *Q. variabilis* stand, and 55.3 t CO<sub>2</sub> · ha<sup>-1</sup> · yr<sup>-1</sup> for *P. strobilacea* stand, respectively.

**Key words** : *Pinus densiflora*, *Platycarya strobilacea*, *Quercus variabilis*, Soil respiration, Soil temperature

---