

## 상수리나무림의 토양호흡에 관한 연구

이 윤 영<sup>1</sup> · 문 형 태

고려대학교 산림자원환경학과<sup>1</sup>, 공주대학교 생명과학과

**적 요:** 상수리나무림에서 교란이 가해지지 않은 대조구(Con), 그리고 인위적으로 만든 숲틈(Gap)과 낙엽층 제거지역(Lr) 두 곳을 실험구로 설정하여 토양호흡과 호흡에 영향을 주는 토양온도, 수분, 유기물함량을 조사하였다. Con, Gap, Lr의 토양호흡률은 7월에 가장 높았으며, 이 때 각각의 평균 토양호흡률은  $15.6 \pm 0.9$ ,  $11.2 \pm 1.4$ ,  $7.7 \pm 1.3$   $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 Con에 비해 Gap과 Lr에서 28.6%와 50.6% 낮았다. Con, Gap, Lr에서 동절기에는 토양호흡률이 각각  $0.5 \pm 0.0$ ,  $0.4 \pm 0.1$ ,  $0.3 \pm 0.0$   $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 지소간 유의한 차이는 없었다. Con, Gap, Lr에서 조사기간의 평균 토양호흡률은 각각  $5.0 \pm 4.7$ ,  $4.3 \pm 3.5$ ,  $2.8 \pm 2.2$   $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 지소간 유의한 차이( $P < 0.01$ )가 있었다. Gap과 Lr은 Con에 비해 각각 24%, 44% 감소되었다. 토양으로부터 대기중으로 방출되는 연간  $\text{CO}_2$ 의 양은 Con, Gap, Lr에서 각각 6.86, 5.84, 3.81  $\text{CO}_2 \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  이었다 ( $P < 0.01$ ). Gap과 Lr는 Con에 비해 각각 14.8, 44.5% 감소되었다. 교란의 정도와 관계없이 토양호흡률은 토양온도와 높은 상관관계가 있었다. 낙엽층은 토양생물의 에너지원이 되고 안정한 서식처를 제공하기 때문에 토양호흡과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

**검색어:** 상수리나무림, 숲틈, 토양온도, 토양호흡량, 토양호흡률,  $\text{CO}_2$  방출

### 서 론

토양미생물의 활성화는 삼림생태계의 낙엽분해과정에 중요한 부분을 차지하며, 미생물의 활동에 의한 낙엽의 무기화과정은 삼림생태계 물질생산에 필요한 영양염류 공급의 기본이 된다 (Nakane 1995). 토양호흡은 토양미생물 활성화의 지표가 되기 때문에 삼림생태계의 탄소순환을 이해하는 데 중요한 요인이 된다. Raich와 Schlesinger(1992)는 생태계 내의 탄소순환에서 토양호흡에 의한 이산화탄소 방출량이 두 번째로 크다고 주장하였다. Tans 등(1990)은 온대지방의 삼림생태계가 대기중의 이산화탄소를 감소시키는 역할을 하는 것으로 보고한 바 있으며, Maier와 Kress(2000)는 11년 된 *Pinus taeda* 조림지에서 비료를 공급하지 않은 지역은 이산화탄소를 방출하지만 비료를 공급한 지역에서는 대기 중의 이산화탄소를 감소시키는 것으로 보고한 바 있다.

생물권의 물질순환 중 탄소의 순환은 그 규모가 가장 큰 것으로 알려져 있으며(Ino and Monsi 1969), 많은 사람들이 토양호흡을 측정해 왔다 (Wiant 1967, Ino and Monsi 1969, Witkamp 1969, Kucera and Kirkham 1971, Schlentner and van Cleve 1985, Striegl and Wickland 1998, Billings *et al.* 1998, Knapp *et al.* 1998). 이들 연구는 주로 기후와 식생에 따른 토양호흡량 비교와 연간 토양호흡량의 추정 그리고 토양호흡에 미치는 환경요인(온도, 수분 등)에 관한 것이었다. 최근에는 삼림으로 유입되는 유기물의 양과 토양으로부터 발생하는 이산화탄소를 정량화하여 삼림생태계의 탄소순환 모델을 예측하려는 연구가 활

발히 진행되고 있다 (Nakane 1995). 또한 이산화탄소 증가로 인한 기후 변화가 대두되면서 이에 따른 토양호흡량의 변화에 관심이 모아지고 있으며(McHale *et al.* 1998), 토지이용 유형에 따른 토양호흡량 변화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다 (Bertram 1991).

국내의 경우는 Son 등(1994)이 식재된 3종의 활엽수림에서, Son과 Kim(1996)이 식재된 리기다소나무림과 낙엽송림의 토양호흡을 측정하여 비교하였을 뿐 이 분야에 관한 연구가 많지 않다.

본 연구의 목적은 국내 삼림의 주종을 이루고 있는 참나무림의 탄소순환에 관한 기초 조사의 일환으로, 상수리나무림의 토양호흡을 측정하여 연간 대기 중으로 방출되는 탄소량, 토양호흡에 대한 토양온도와 토양수분의 영향을 평가하고, 인위적인 교란 지역을 조성하여 환경 변화에 따른 토양호흡량의 변화를 파악하기 위한 것이다.

### 재료 및 방법

#### 조사지 개황

조사지소인 상수리나무림(*Quercus acutissima* forest)은 충남 공주시 근교의 고도 150 m, 경사 5~10°의 동사면에 위치하며, 일반인의 출입이 통제되어 삼림의 보존 상태가 양호하다. 이 지역의 식생은 Mun과 Joo(1994)에 의해 보고된 바 있다. 조사지소에서 32 km 떨어져 있는 부여측후소의 자료에 의하면 1998년 9월부터 1999년 8월까지의 연강수량은 1219.1 mm, 연평균기온은 13.3°C이며, 최난월은 8월로 25.8°C, 최한월은 1월로 0°C 이

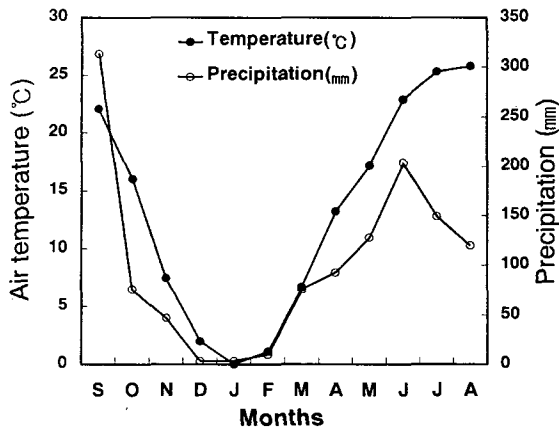


Fig. 1. Seasonal precipitation and average temperature from 1998 to 1999 at Buyeo meteorological station about 32 km distance from the study area.

었다. 강수량의 분포는 주로 하절기에 집중되었다 (Fig. 1).

**실험 설계**

자연상태의 상수리나무림을 대조구(Con)로 설정하였으며, 인위적으로 교목을 베어내어 숲틈(Gap)을 만든 지역과 지상부에서 유입되는 낙엽을 지속적으로 제거한 지역(Lr)을 처리구로 설정하였다.

숲틈은 1998년 7월초에 교목과 관목을 기부까지 베어내어 조성하였으며, 면적은 10 m × 15 m이었다. 낙엽층 제거구(litter removed, Lr)는 목본식생을 자연상태로 둔 채 낙엽층과 초본층을 모두 제거하여 토양이 대기와 직접 접하도록 한 후 2mm<sup>2</sup> 망목의 나일론그물로 덮어두었다. 낙엽층 제거구는 5개의 반복구를 설정하였으며, 조사기간 동안 한달에 2번 정기적으로 나일론그물에 이입된 낙엽을 제거하였다.

**토양호흡**

토양호흡은 1998년 8월부터 1999년 8월까지 매달 15일과 30일의 11:00~13:00 사이에 Con, Gap, Lr의 3지역에서 각각 5 지소를 선정하여 토양호흡 측정용 chamber가 부착된 휴대용 CI-301 CO<sub>2</sub> Gas Analyzer로 측정하였다. Chamber에 달린 센서로 지표면의 온도와 상대습도 그리고 광합성유효방사량(PAR, μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>)이 동시에 측정된다. 야외에서 측정된 자료를 memory card에 저장하여 실험실에서 처리하였다.

**토양온도, 토양 채취 및 분석**

토양온도는 Con과 Gap지역에서 Thermo Recorder (TR-72S)의 센서를 지표로부터 5cm 깊이에서 묻어 조사기간 동안 1시간 간격으로 측정하였다. 토양호흡 측정과 함께 0~10 cm의 상층토양을 채취하였다. 토양은 비닐봉투에 밀봉하여 실험실로 운반한

후 수분함량을 측정하였고 음건 후 유기물함량을 측정하였다 (Wilde et al. 1979).

**통계처리**

측정된 자료는 SPSS 통계 프로그램을 사용하여 Con, Gap, Lr의 지소간 요인들의 평균 차이를 T-test를 실시하였고, 토양호흡에 영향을 주는 환경요인과의 관계는 상관분석과 회귀분석을 실시하였다.

**결 과**

**지표면의 입사광량**

지표면에 입사되는 광량은 편차를 줄이기 위해 대부분 구름이 없는 맑은 날의 측정자료를 이용하였다. Con과 Lr의 광량은 계절에 따라 뚜렷한 변화를 보였으며, Gap지역은 흐린 날을 제외하고는 Con과 Lr지역보다 유의한 수준으로 높았다 (P<0.01, Fig. 2). Con과 Lr지역은 수관에 의해서 광이 차단되기 시작하는 5월부터 10월까지의 Gap지역에 비해 입사광량이 적었으며, 낙엽이 떨어지는 11월부터 다음 해 4월까지의 Gap지역과 유사하게 나타났다. 그러나 Con과 Lr 지역간 입사되는 광량에는 유의한 차이가 없었다.

**토양온도**

Con, Gap, Lr의 지표면 최대온도는 모두 8월중에 측정되었으며, 각각의 평균온도는 25.1±0.6, 26.8±0.5, 26.3±1.0°C로 Con보다 Gap과 Lr에서 각각 1.7°C, 1.2°C 높았다 (Fig. 3). 지표면의 최저온도는 1월중에 Con, Gap, Lr에서 각각 0.3±0.2, 0.8±0.3, 0±0.1°C로 기록되었으며, 지소간 유의한 차이는 없었다. Con, Gap, Lr에서 조사기간 동안의 연평균 지표면 온도는 각각 14.0, 15.5, 15.2°C로 Gap지역이 Con보다 유의하게 높았다 (P<0.001).

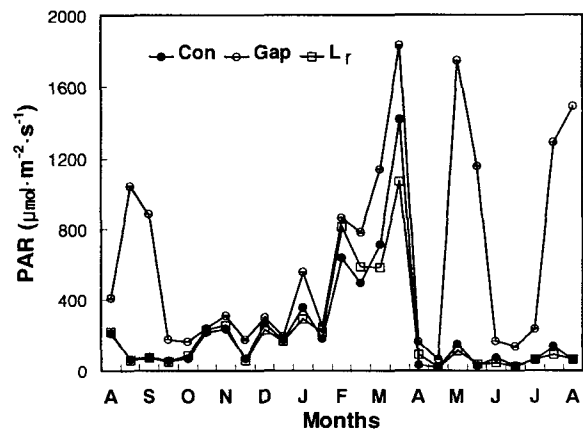


Fig. 2. Seasonal photosynthetic active radiation (PAR) measured at forest floor in oak stand. Con: undisturbed area, Gap: artificial gap area, Lr: litter removed area.

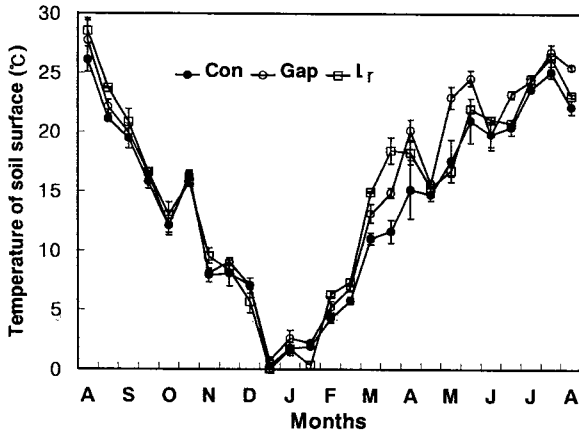


Fig. 3. Seasonal soil surface temperature in oak stand. Legends are the same in Fig. 2.

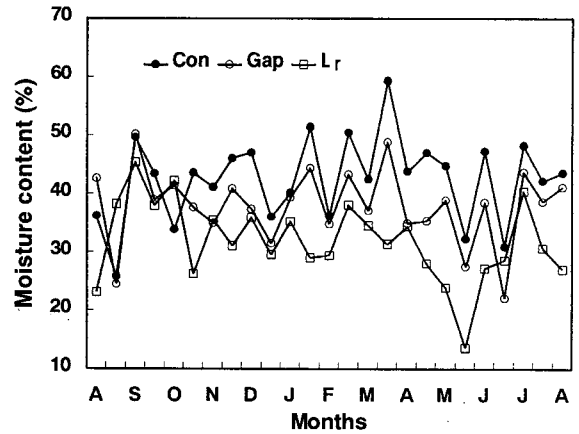


Fig. 5. Seasonal soil water(%) in oak stand. Legends are the same in Fig. 2.

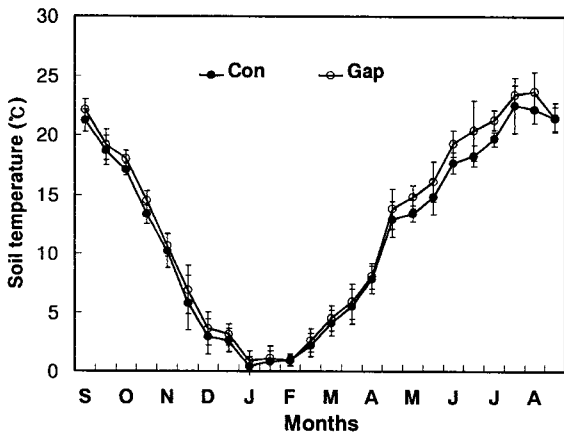


Fig. 4. Seasonal soil temperature at 5cm in oak stand. Legends are the same in Fig. 2.

그러나 Gap과 Lr간에는 유의한 차이가 없었다. Lr 지역의 지표면 온도가 Gap과 유사하게 나타난 것은 지표면이 대기와 직접 접해있기 때문인 것으로 판단된다.

Con과 Gap의 계절별 토양온도는 지표면의 온도와 유사한 경향성을 보였다 (Fig. 4). 최고 토양온도는 8월에 그리고 최저온도는 1월에 기록되었으며, 이 때 Con과 Gap의 온도는 각각 22.2, 23.7°C와 0.4, 0.9°C이었다. 8월에는 Gap이 Con보다 1.5°C 높았지만 1월에는 거의 차이가 없었으며, 조사기간 동안 Con과 Gap의 연평균 토양온도는 각각 11.5, 12.4°C로 Gap이 Con에 비해 유의하게 높았다 ( $P < 0.001$ ).

**토양수분함량**

Con, Gap, Lr의 평균 토양수분함량은 각각 42.5±7.4, 37.9±6.6, 31.8±6.8%로 나타났으며 (Fig. 5), Con이 Gap과 Lr에 비해

유의하게 높았다 ( $P < 0.001$ ). 이것은 Gap 지역의 광량이 많아 증발이 많았기 때문이며, Lr는 낙엽층이 제거되어 수분 보유능이 낮아졌기 때문인 것으로 판단되었다.

**유기물함량**

토양의 유기물은 지상부에서 낙엽의 형태로 그리고 지하부의 고사로 인하여 공급된다. 이들 유기물의 양과 질은 토양미생물과 토양소동물의 활성에 영향을 미치므로 토양호흡률에 차이를 나타낼 수 있다 (Chapman 1979).

Con, Gap 그리고 Lr의 계절별 토양의 유기물함량은 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다 (Fig. 6). 그러나 조사기간 동안 Con, Gap, Lr의 평균 유기물함량은 각각 12.1±2.0, 11.4±1.9, 8.5±0.8%로서 지속적으로 낙엽을 제거한 Lr의 유기물함량이 다른 두 지역에 비해 유의하게 ( $P < 0.001$ ) 낮았으며, Gap과 Con 사이에는 유의한 차이가 없었다. 조사기간 동안 지상부 탄소원의 공급

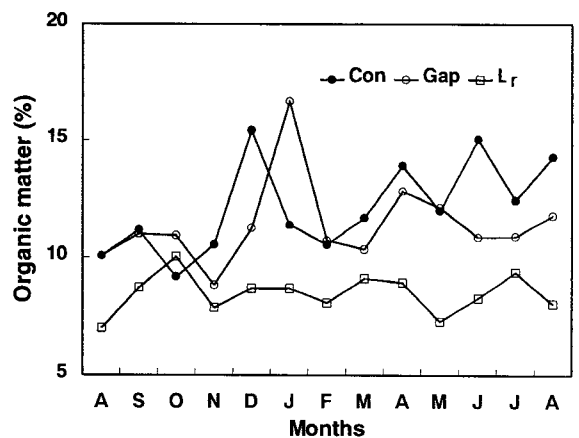


Fig. 6. Seasonal soil organic matter(%) in oak stand. Legends are the same in Fig. 2.

차단효과는 Lr 평균 유기물함량을 Con에 비해 29.8% 감소시키는 것으로 나타났다.

**계절별 토양호흡량**

Con, Gap 그리고 Lr의 토양호흡량은 모두 동절기에서 하절기로 갈수록 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 7). 토양호흡량이 가장 높은 7월에 Con, Gap, Lr의 평균 토양호흡량은 각각  $15.6 \pm 0.9$ ,  $11.2 \pm 1.4$ ,  $7.7 \pm 1.3 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 지역간 큰 차이를 보였으며, Gap과 Lr는 Con에 비해 각각 28.6%, 50.6% 낮은 값이었다. 동절기(12~2월)에 토양호흡량이 가장 낮았는데, 이때 Con, Gap, Lr의 토양호흡량은  $0.5 \pm 0.0$ ,  $0.4 \pm 0.1$ ,  $0.3 \pm 0.0 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 지소간 유의한 차이가 없었다. 전반적으로 토양호흡량은 동절기(12~2월)와 봄철(3~5월)을 제외하고 Con이 다른 두 지역보다 많았다. 조사기간 동안 Con, Gap, Lr의 연평균 토양호흡량은 각각  $5.0 \pm 4.7$ ,  $4.3 \pm 3.5$ ,  $2.8 \pm 2.2 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 지소간 유의한 차이가 있었는데( $P < 0.01$ ), Con에 비해 Gap과 Lr가 각각 24%, 44% 낮았다.

Con지역의 최대 토양호흡률을 같은 방법으로 측정된 다른 생태계의 연구 결과와 비교해보면, 생산성이 낮은 1년생초지 ( $2.2 \sim 2.8 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 목화지대 ( $2 \sim 8 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Nakayama *et al.* 1994), 그리고 성숙한 참나무림 ( $5.7 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Hanson *et al.* 1993)의 최대 토양호흡률은 본 조사결과와 큰 차이를 보였다. 미국 Kansas의 장경초지 ( $11.8 \sim 15.1 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Knapp *et al.* 1998, Ham *et al.* 1995)와 저위도의 열대림 ( $14.0 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Kursar 1989)만이 측정된 결과 중 비슷한 값을 나타내었다.

Con의 연평균 토양호흡량은  $5.0 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 중부지방의 식재된 3종류 활엽수림에서 측정된  $1.3 \sim 2.1 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (Son *et al.* 1994)에 비해 2.5배정도 높은 값이며, 리기다소나무림과 낙엽송림에서 측정된  $2.4$  및  $2.1 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (Son and Kim 1996)에 비하면 2배정도 높은 값이었

다. 그러나 본 연구결과는 Singh와 Gupta(1977)가 온대지방 여러 삼림생태계의 측정결과를 종합한  $0.06 \sim 6.3 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 범위 내에 포함되는 값이었다.

**연간 토양호흡량**

Con, Gap, Lr의 연간 토양호흡량 추정치는 각각 6.87, 5.92,  $3.86 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이었다 (Table. 1). Son과 Kim(1996)은 리기다소나무림과 낙엽송림의 연간 토양호흡량 추정치를  $2.3 \sim 2.7 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  이라고 보고하였으며, Hanson 등(1993)은 유럽과 미국의 참나무가 우점하는 삼림에서 연간  $\text{CO}_2$ 의 발생량은  $0.6 \sim 3.9 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이라고 보고하였다. 이밖에도 장경초지는 연간  $4.7 \sim 7.8 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  (Knapp *et al.* 1998), 파나마의 삼림을 포함한 열대 생태계는  $1.5 \sim 8.0 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  (Kursar 1989), 일본의 40년생 소나무림은  $3.6 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 알려져 있으며 (Nakane 1995), Raich와 Nadelhoffer(1989)는 전세계 침엽수림의 토양에서 발생하는  $\text{CO}_2$ 는  $1.0 \sim 4.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 범위 내에 있다고 보고하였다. 이상의 결과들과 비교해 볼 때, 본 조사지의 연간 토양호흡량은 유사한 기후대의 삼림에 비해 높았으나 장경초지와 저위도의 열대 생태계보다는 낮은 값이었다. 이러한 차이는 토양호흡을 측정하는 방법, 식생형, 생육계절의 기간, 낙엽생산량, 낙엽의 분해율 등의 차이에 의한 것으로 판단된다. 또한 대부분의 연구들은 토양호흡이 과소 측정되는 것으로 알려진 알카리 흡수법으로 측정된 결과이기 때문에 본 연구결과와 차이가 있을 수 있다 (Nay *et al.* 1994).

Table. 1. Seasonal soil  $\text{CO}_2$  evolution and yearly total in each plot in the study area

Month	Soil respiration ( $\text{CO}_2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mo}^{-1}$ )		
	Con	Gap	Lr
Sep-98	749.1	562.8	469.6
Oct-98	510.5	422.0	259.0
Nov-98	351.3	283.3	221.0
Dec-98	130.2	116.4	79.8
Jan-99	60.8	58.9	34.2
Feb-99	68.4	72.2	49.4
Mar-99	125.5	189.7	154.0
Apr-99	260.9	334.1	276.8
May-99	625.7	692.8	357.4
Jun-99	891.2	758.1	518.5
Jul-99	1490.1	1096.3	689.7
Aug-99	1593.3	1257.7	696.2
Total	6857.0	5844.3	3805.6
Yearly total ( $\text{CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ )	6.86	5.84	3.81

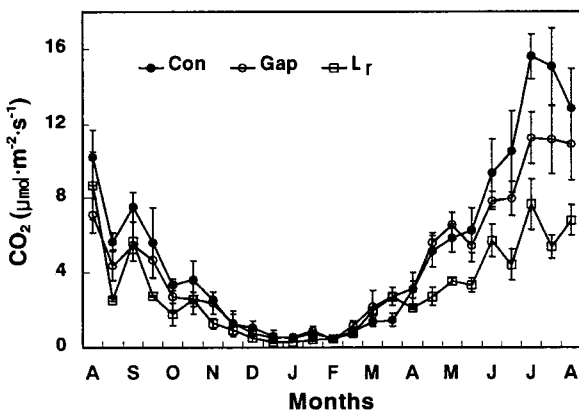


Fig. 7. Seasonal soil respiration rates measured in oak stand. Legends are the same in Fig. 2.

고찰

토양호흡은 유기물의 순환을 추정할 수 있는 생태계의 중요한 속성 중의 하나이며 (Parker *et al.* 1983), 토양생물과 뿌리의 활동을 나타내는 지표가 된다 (Coleman 1973). 토양호흡은 토양층의 수직구조에 따라 낙엽층 미생물의 호흡, 토양생물의 호흡 그리고 뿌리호흡으로 구분할 수 있다. 특히 뿌리호흡은 삼림 생태계에서 상당한 비율을 차지하지만 (Nakane *et al.* 1996), 방법상의 문제로 뿌리호흡을 정확하게 측정하기가 어려워 이에 대한 연구는 많지 않다.

Kucera와 Kirkham(1971)은 뿌리 생물량 증가와 함께 토양호흡량이 증가하며, 뿌리호흡이 전체 토양호흡량의 40%를, Chapman(1979)은 70% 정도를 차지하는 것으로 보고하였다. 그러나 Coleman(1973)은 뿌리호흡에 의한 이산화탄소 발생량이 전체 토양호흡의 3~9%, 토양미생물이 71% 그리고 나머지는 토양동물에 의한 것이라고 보고한 바 있다 (Parker *et al.* 1983). 국내의 경우 Son과 Kim(1996)은 리기다소나무림과 낙엽송림에서 뿌리호흡이 전체 토양호흡의 3% 정도를 차지하는 것으로 보고하였다.

토양호흡에 관련된 연구들은 대부분 토양호흡이 1차적으로 토양온도에 의해서 주도되며, 이들간에 상당히 높은 상관관계

가 있음을 보고하였다 (Witkamp 1969, Son and Kim 1996, McHale *et al.* 1998, Knapp *et al.* 1998). 실제로 본 결과에서도 토양호흡과 토양온도 사이에 높은 상관관계를 나타내었다. 특히 Con의 토양호흡률은 동절기에서 하절기로 갈수록 토양온도가 증가함에 따라 지수적으로 증가하였으며 (Figs 8과 9), 다른 두 지소도 교란의 정도와 상관없이 유사한 경향성을 보였다. Con, Gap 그리고 Lr의 지표면 온도와 토양호흡률 사이의 상관관계는 각각  $r^2=0.87, 0.81, 0.89$ 로 나타났으며, Con과 Lr의 토양온도와 토양호흡률 사이의 상관관계는  $r^2=0.93$ 과  $r^2=0.88$ 로 매우 높게 나타났다.

많은 연구에서 토양수분이 토양호흡에 영향을 주는 중요한 환경요인으로 보고된 바 있으며 (Witkamp 1969, Reiners 1968, Crapo and Coleman 1972, Knapp *et al.* 1998), 이들은 토양수분을 토양호흡을 결정하는 중요한 2차적인 환경요인으로 평가하였다. Knapp 등(1998)은 장경초지에서 지속적으로 관개를 한 지역에 비해 그렇지 않은 곳은 토양호흡률이 25%정도 감소하는 것으로 보고하였다. 그러나 토양호흡에 대한 토양수분 효과가 분명하지 않거나, 상관성이 있더라도 그 관계가 온도보다 낮다는 보고도 있다 (Chapman 1979).

본 연구 결과에서도 토양수분과 토양호흡률 간에는 직접적인 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 토양호흡이 최대가 되는 7~8월의 토양의 수분함량은 Con, Gap 그리고 Lr의 순서로 높게 나타났으며, 이것은 토양호흡률의 높은 순서와 동일하였다. 토양수분은 뿌리의 깊이, 뿌리호흡 그리고 토양미생물의 군집 구성원에 영향을 미치며 (Billings *et al.* 1998), 그 결과 호흡률에도 차이를 나타낼 수 있다 (Witkamp 1966). 상대적으로 낮은 Gap과 Lr의 수분함량은 토양생물의 다른 생리적인 과정에 영향을 미쳐 토양호흡률의 저하를 초래한 것으로 판단

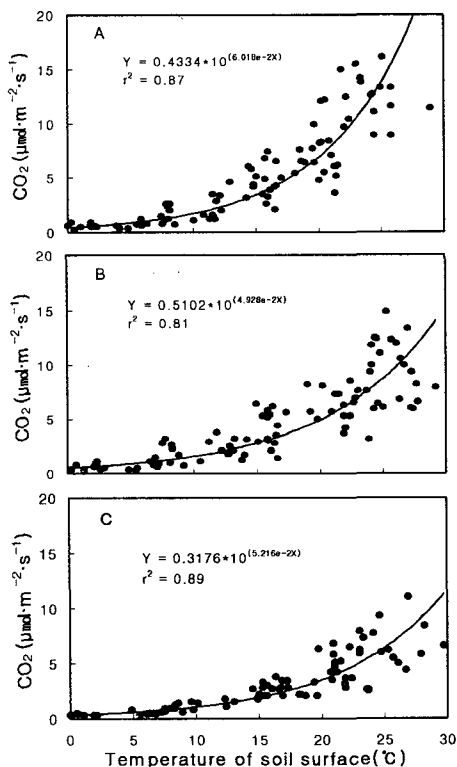


Fig. 8. The relationship between soil respiration and soil surface temperature in oak stand. A: Con, B: Gap, C: Lr.

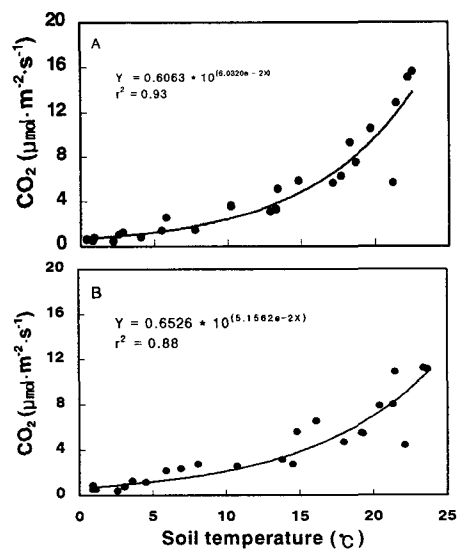


Fig. 9. The relationship between soil respiration and soil temperature at 5 cm in oak stand. A: Con, B: Gap.

된다 (Witkamp 1969).

Gap에서는 입사광량이 많아 지표면의 온도와 토양온도를 상승시켜 토양수분함량이 Con에 비해 상대적으로 낮았으며, 이것은 낙엽의 분해율과 미생물의 활성을 감소시켰을 것으로 판단된다. 따라서 Gap의 토양호흡률이 낮은 것은 수분 조건의 변화로 인해 미생물 활성도와 토양환경의 변화라는 복합적인 환경요인 때문인 것으로 해석되었다.

낙엽을 지속적으로 제거한 Lr지역은 낙엽층의 부재로 수분소실과 토양생물이 이용할 수 있는 탄소원의 공급이 차단되어 토양생물의 활성이 저해될 수 있다. 또한 낙엽층의 제거는 많은 토양소동물의 서식지가 사라지는 효과를 가져올 수 있다. 따라서 지속적으로 유입되는 탄소원과 낙엽층은 토양생물의 안정한 서식처와 이용 가능한 자원이 되기 때문에 토양호흡에 중요한 요인으로 해석되었다.

### 인용문헌

- Bertram, H.S. 1991. Carbon dioxide and climate: climatic impact of soil borne CO<sub>2</sub>. In J. Berthelin (ed.), Diversity of environmental Biogeochemistry. Elsevier. pp. 391-395.
- Billings, S.A., D. D. Richter and J. Yarie. 1998. Soil carbon dioxide fluxes and profile concentrations in two boreal forests. Can. J. For. Res 28: 1773-1783.
- Chapman, S.B. 1979. Some interrelationship between soil and root respiration in lowland calluna heathland in southern England. Ecology 67: 1-20.
- Coleman, D. 1973. Compartmental analysis of total soil respiration: an exploratory study. Oikos 24: 465-468.
- Crapo, N.L. and D.C. Coleman. 1972. Root distribution and respiration in a Carolina old field. Oikos 23: 137-139.
- Ham, J.M., C.E. Owensby, P.I. Coyne and D.J. Bremer. 1995. Fluxes of CO<sub>2</sub> and water vapor from a prairie ecosystem exposed to ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. Agricultural and Forest Meteorology 77: 73-93.
- Hanson, P.J., S.D. Wullschlegel, S.A. Bohlman and D.E. Todd. 1993. Seasonal topographic patterns of forest floor CO<sub>2</sub> efflux from an upland oak forest. Tree Physiology 13: 1-15.
- Ino, Y. and M. Monsi. 1969. An experimental approach to the calculation of CO<sub>2</sub> amount evolved from several soils. Jap. J. Bot. 20: 153-188.
- Knapp, A.K., S. L. Conard and J. M. Blair. 1998. Determination of soil CO<sub>2</sub> 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.
- Kursar, T.A. 1989. Evaluation of soil respiration and soil CO<sub>2</sub> concentration in a lowland moist forest in Panama. Plant and Soil 113: 19-21.
- Maier, C.A. and L.W. Kress. 2000. Soil CO<sub>2</sub> evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine(*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability. Can. J. For. Res. 30: 347-359.
- 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.
- Mun, H.T. and H.T. Joo. 1994. Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. Korean J. Ecology 17: 345-353.
- Nakane, K. 1995. Soil carbon cycling in a Japanese cedar(*Cryptomeria japonica*) plantation. Forest Ecology and Management 72: 185-197.
- Nakane, K., T. Kohno and T. Horikoshi. 1996. Root respiration rate before and just after clear-felling in a mature, deciduous, broad-leaved forest. Ecological Research 11: 111-119.
- Nakayama, F. S., G. Huluka, B.A. Kimball, K.F. Lewin, J. Nagy and G.R. Hendrey. 1994. Soil carbon dioxide fluxes in natural and CO<sub>2</sub>-enriched systems. Agricultural and Forest Meteorology 70: 131-140.
- 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.
- Parker, L.W., J. Miller, Y. Steinberger and W.G. Whitford. 1983. Soil respiration in a Chihuahuan desert rangeland. Soil Biol. Biochem. 15: 303-309.
- Raich, J.W. and K.J. Nadelhoffer. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. Ecology 49: 471-483.
- 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:81-89.
- Reiners, W.A. 1968. Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. Ecology 49(3):471-483.
- 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.
- Son, Y., G. Lee and J.Y. Hong. 1994. Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantations. J. Kor. Soc. Soil Sic. Fertil. 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.
- Striegl, R.G. and K.P. Wicklad. 1998. Effects of a clear-cut harvest on soil respiration in a jack pine-lichen woodland. Can. J. For. Res. 28: 534-539.
- Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. Science 247: 1431-1438.
- Wiant, H.V. 1967. Influence of moisture content on soil respiration. J. For. 65: 902-903.
- Wilde, S.A., R.B. Corey, J.G. Iyer and G.K. Voigt. 1979. Soil and plant analysis for tree culture. Oxford and IBH Publishing, New Delhi 224p.
- Witkamp, M. 1966. Rates of carbon dioxide evolution from litter and soil. Ecology 47: 922-924.
- Witkamp, M. 1969. Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from the forest floor. Ecology 47:492-494  
(2000년 11월 3일 접수; 2001년 3월 8일 채택)

---

## A Study on the Soil Respiration in a *Quercus acutissima* Forest

Lee, Yoon-Young<sup>1</sup> and Hyeong-Tae Mun<sup>†</sup>

*Department of Forest Resources and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea<sup>1</sup>*

*Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea*

**ABSTRACT** : Soil respiration and some environmental factors which affect soil respiration were studied in an oak forest, Kongju, Korea. Soil respiration was measured at midday of the 15th and 30th day at every month in control (Con), artificial forest gap (Gap) and litter removed area (Lr) with portable CO<sub>2</sub> Analyzer equipped soil respiration chamber. In July, maximum soil respiration in Con, Gap and Lr was 15.6, 11.2 and 7.7 CO<sub>2</sub> μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively. Respiration in Gap and Lr decreased by 28.6% and 50.6%, respectively, compared with that in Con. Annual amount of soil CO<sub>2</sub> evolution from Con, Gap and Lr was 6.86, 5.84, 3.81 kg · m<sup>-2</sup> · yr<sup>-1</sup>, respectively. Annual amount of CO<sub>2</sub> evolution in Gap and Lr decreased by 14.8% and 44.5%, respectively, compared with that in Con. Soil respiration rates exponentially increased with temperature. Temperature of soil surface and at 5 cm depth was strongly related to soil respiration rates in Con (r<sup>2</sup>=0.87, 0.93), Gap (r<sup>2</sup>=0.81, 0.88) and Lr (r<sup>2</sup>=0.89).

**Key words** : CO<sub>2</sub> evolution, Gap, *Quercus acutissima*, Soil respiration, Soil temperature

---

<sup>†</sup> Author for correspondence; Phone: 82-41-850-8499, e-mail: htmun@kongju.ac.kr