

상수리나무림의 유기탄소 분포에 관한 연구

이 규 진 · 문 형 태*

공주대학교 생명과학과

Organic Carbon Distribution in an Oak Forest

Lee, Kyu-Jin and Hyeong-Tae Mun

Dept. of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

ABSTRACT: In order to investigate the organic carbon distribution, net primary production, annual litter production, organic carbon in litter layer, soil organic carbon and soil respiration were studied in an oak forest, Kongju, Chungnam Province in Korea. Net primary production was estimated to $15.84 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$. The amount of carbon allocated to leaf and reproductive organ, branch, stem and root was $1.71, 4.03, 7.34, 2.76 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively. Annual litter production was $5.21 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, which amounted to $2.35 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$. Average amount of organic carbon in litter layer (L+F) was 6.06 ton C/ha , and that of L layer decreased from winter through summer. Soil organic carbon decreased along the soil depth. Average amount of soil organic carbon in this oak forest was 165.19 ton C/ha . The amount of carbon evolved through soil respiration was $11.24 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$. Net amount of $4.60 \text{ ton C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ was absorbed from the atmosphere by this oak forest.

Key words: Carbon distribution, Litter production, Net production, Oak forest, Organic carbon, Soil respiration

서 론

육상생태계와 기후는 식생, 토양 그리고 대기권 사이의 탄소 순환을 통해 상호 밀접한 관련을 맺고 있다(Kimble *et al.* 2003). 삼림은 육상생태계에 저장되어 있는 탄소의 75% 이상을 차지하며, 대기와 육상의 생물권 사이에 매년 교환되는 탄소의 40%를 차지하고 있다(Schlesinger 1997). 산업혁명 이후 화석연료의 사용 증가로 대기 중의 이산화탄소의 농도가 증가하여 지구온난화가 우려되고 있으며, 그 결과 지구수준의 기후변화가 예상되고 있다. 새로운 청정 에너지자원의 개발이 있기 전까지는 화석연료의 사용이 불가피한 실정이고, 따라서 배출된 이산화탄소를 저감시키기 위한 일환으로 임목의 생장을 통해 대기 중의 탄소를 흡수시키는 방안이 관심이 집중되고 있다(Kimble *et al.* 2003, Johnson *et al.* 2004). Tans 등(1999)은 온대 삼림생태계가 대기 중의 탄소를 감소시키는 중요한 역할을 하는 것으로 보고한 바 있다(Pyo *et al.* 2003). 대기 중의 CO₂ 증가는 식물의 광합성 증가를 통해 육상생태계를 상당한 탄소 저장원으로 작용하도록 변화시켰지만 이러한 사실을 입증할 직접적인 증거는 거의 없는 실정이다(Pregitzer 2003).

육상 생태계와 대기권 사이의 탄소 유동량을 파악하기 위해서는 먼저 각 생태계 탄소 저장고의 탄소량을 파악하여야 한다(Pregitzer 2003). 삼림생태계의 경우 전체 탄소량은 지상부와 지

하부 생물량, 고사한 목질부, 낙엽층, 하층식생 그리고 삼림토양에 들어 있는 탄소의 양을 합한 것이다. 특히 토양 내 탄소량은 지구 총 탄소량의 약 50% 이상을 포함하고 있기 때문에 (Vitousek 1991) 산림토양 내 탄소량의 정확한 규명이 산림을 통한 이산화탄소의 흡수·저장능력을 이해하는데 필수적이다 (Morris and Paul 2003). 탄소의 연간 유동량은 삼림생태계 전체 탄소량의 연간 변화량으로 나타낼 수 있다. 교토의정서와 관련하여 생태계 유형별 각 구성원의 탄소 저장량 및 이들 사이의 탄소 유동량에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 국내의 경우에는 상대적으로 연구가 많지 않은 실정이다(Han 2002, Pyo *et al.* 2003).

본 연구는 삼림생태계의 각 부분별 유기탄소 저장고의 탄소량을 정량하여 연간 탄소 유동량 파악을 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다. 이를 위해 상수리나무림의 연순생산량, 연간 낙엽생산량, 지상부 및 지하부의 유기탄소량, 임상 낙엽의 유기탄소량, 토양 내 유기탄소량, 토양 호흡량 등을 조사하였다.

재료 및 방법

조사지 개황

조사지소인 상수리나무림(*Quercus acutissima* forest)은 충남 공주시 근교의 고도 150 m, 경사 5~10°의 동사면에 위치하고 있다(N 36° 25' 9". E 127° 6' 13"). 이 지역은 일반인의 출입이

* Corresponding author; Phone: +82-41-850-8499, e-mail: htmun@kongju.ac.kr

부분적으로 통제되어 식생 보존이 매우 양호한 상태이다. 조사지소 상수리나무림의 수령은 30~40년, 교목의 평균 흉고직경은 15.3cm, 평균수고는 16.7m 그리고 임목밀도는 2,100 그루/ha 이었다. 초본층과 관목층은 매우 빈약하였다(Mun and Joo 1994).

순일차 생산량

상수리나무림의 줄기와 가지의 연간 순생산량은 기존의 상대생장식을 이용하여 계산하였으며(Chae and Kim 1977), 잎과 생식기관은 현장에 설치한 littertrap에 수거된 연간 낙엽생산량으로 계산하였다. 지하부의 연간 순생산량은 Johnson과 Risser (1974)의 방법에 따라 지상부 연간 순생산량의 25%를 적용하였다. 2002년 8월에 조사지소인 상수리나무림 내에 20m × 20m의 영구방형구를 설정하였으며, 2002년 9월과 1년 후인 2003년 8월에 측정된 흉고직경(D)과 수고(H)를 회귀직선식에 대입하여 2002년(W₁)과 2003년의 현존량(W₂)을 계산하고 증가량(ΔW=W₂-W₁)을 가지와 줄기의 연간 순생산량으로 하였으며, 건량의 45%를 유기탄소의 양으로 추정하였다(Houghton *et al* 1983).

낙엽 생산량

조사지역의 낙엽 생산량은 사넬천으로 제작한 직경 50cm의 원형 littertrap을 이용하여 1992년부터 측정하고 있다. 5개의 낙엽수거기에 이입되는 낙엽을 월 1회씩 주기적으로 회수하여 실험실에서 잎, 목질부, 생식기관, 기타 등으로 분류한 다음 80°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였다. 연간 낙엽생산량은 낙엽수거기에 회수된 낙엽의 건량을 기초로 하여 단위 면적으로 환산하였다.

낙엽층의 유기탄소

임상 낙엽층의 유기탄소량을 측정하기 위하여 2002년 9월부터 2003년 8월까지 매 분기별로 임의의 5개의 25 cm × 25 cm 소형 방형구를 설치 후 방형구내에 있는 낙엽층을 L층과 F층으로 구분하여 수거하였다. 채집한 낙엽은 실험실에서 각각 잎, 목질부, 생식기관, 기타 등으로 분류한 다음 80°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였다. 칭량이 끝난 샘플은 마쇄하여 유기탄소분석에 사용하였다(Montagu *et al.* 2003). 낙엽층 내 유기탄소의 양은 분기별로 채취한 L층과 F층의 낙엽 건중량을 기초로 하여 단위 면적으로 환산하였다(Chapman 1979).

토양분석 및 토양호흡 측정

2002년 9월부터 2003년 8월까지 매 분기별(9월, 12월, 3월, 6월)로 1회씩 조사지소 내에 임의의 4개 지점을 선정하여 토양시료를 채취하였다. 토양은 지표에서 1m 깊이까지 10cm 간격으로 채취하여 비닐봉지에 밀봉한 후 실험실에서 음건시킨 후 분석에 사용하였다. 토양 유기물 함량은 작열소실량으로 정량하였으며, Montagu 등(2003)에 따라 토양유기물 함량을 탄소량으로 전환시켰다.

토양호흡은 2002년 9월 말부터 2003년 9월 초까지 12개월 동

안 2주 간격으로 매회 5지점에서 측정하였다. 측정은 휴대용 CI-301 CO₂ Gas Analyzer와 soil respiration chamber를 이용하였다.

결과 및 고찰

순일차생산량

조사지역 상수리나무림의 현존량과 연간 순생산량의 자료를 Table 1에 종합하였다. 2002년과 2003년에 측정된 가지와 줄기 그리고 뿌리의 현존량은 각각 97.86, 25.58 ton/ha 그리고 123.11, 31.72 ton/ha이었으며, 같은 기간 동안에 생산된 낙엽과 생식기관의 양은 각각 4.47, 3.80 ton/ha 이었다. 따라서 조사기간 동안의 순생산량은 가지와 줄기 그리고 뿌리의 순생산량(31.39 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹)에 잎과 생식기관의 생산량인 3.80 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹를 합하여 35.19 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹이었다(Table 1).

Chae와 Kim(1977)은 관악산 수목원의 상수리나무림에서 연순생산량을 17.9 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹으로 보고한 바 있으며, Song 등(1997)은 신갈나무와 굴참나무 천연림의 지상부 연순생산량을 각각 9.96 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹와 8.64 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹로 보고한 바 있다. Kira와 Shidei(1967)가 조사한 일본의 활엽수림의 연순생산량은 5~30 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹이었다. Song 등(1997)이 조사한 신갈나무림과 굴참나무림의 평균 임령은 각각 67년과 62년으로 본 조사지소의 상수리나무림에 비해 높았다. 본 연구 결과는 이들 삼림의 결과와 비교하면 높았는데, 이들 순 생산량에 관한 조사 결과는 조사지소의 수령과 임목밀도 그리고 토양의 비옥도에 따라 매우 큰 차이가 있을 것으로 예상된다.

광합성으로 고정된 유기물은 식물의 대사활동에 이용되며 잉여의 유기물은 식물체내에 축적된다. 조사지역의 지상부와 지하부 연순생산량을 탄소량으로 환산하면 15.84 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹의 탄소가 식물체 내에 고정된다(Table 2). Song 등(1997)이 계산한 바에 의하면 신갈나무림과 굴참나무림의 지상부에서 연간 고정되는 탄소의 양은 각각 4.78 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹, 4.28 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹ 이었다.

낙엽 생산량

상수리나무림의 낙엽 생산은 연중 계속되었으나 계절에 따라 큰 차이를 보여 가을에 대부분의 낙엽이 생산되고 4월과 5월

Table 1. Standing biomass (ton/ha) and net primary production (NPP, ton · ha⁻¹ · yr⁻¹) of the oak stand in the study area

Stand	Standing biomass		NPP	
	Sep. 2002	Aug. 2003		
<i>Quercus acutissima</i>	Branch+Stem	97.86	123.11	29.05*
	Root	25.58	31.72	6.14
	Total	123.44	153.83	35.19

*Increments of branch and stem + leaf + Rep. Organ.

Table 2. Standing carbon (ton C/ha) in 2002 and 2003 and net increase of carbon (ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹) of the oak stand in the study area

	Standing carbon		Net increase
	2002	2003	
Leaf+ Rep. organ	2.01	1.71	1.71
Branch	13.26	17.29	4.03
Stem	30.78	38.12	7.34
Root	11.51	14.27	2.76
Total	57.56	71.39	15.84

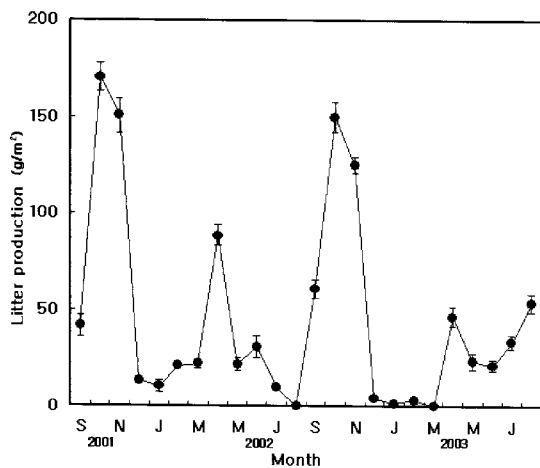


Fig. 1. Seasonal litter production in the oak stand. Bars indicate SD. (n=5).

에는 생식기관에 의한 생산량이 많았다(Fig. 1). 2001년 9월부터 2002년 8월까지의 전체 낙엽 생산량은 578.82 g · m⁻² · yr⁻¹, 2002년 9월부터 2003년 8월까지의 생산량은 521.02 g · m⁻² · yr⁻¹ 이었다. Mun과 Joo(1994)는 같은 지역에서 10년 전인 1992년에서 1993년 낙엽 생산량이 567.1 g · m⁻² · yr⁻¹으로 보고한 바 있어 낙엽 생산량에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 2002년 9월부터 2003년 8월까지 생산된 낙엽을 통해 연간 입상으로 이입되는 유기탄소량은 234.5 gC · m⁻² · yr⁻¹ (2.35 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹)이었다.

낙엽층의 유기탄소량

조사지소 낙엽층의 분기 별 유기탄소량의 평균값을 Table 3에 나타내었다. 층별 유기탄소량은 L층이 2.01~3.33 ton C/ha, F층이 3.26~3.69 ton C/ha이었고, 층별 평균 유기탄소량은 L층이 2.80 ton C/ha, F층이 3.26 ton C/ha로 F층의 유기탄소량이 L층보다 많았다. 동절기에서 하절기로 갈수록 낙엽층의 유기탄소의 양이 감소하는 계절별 유의한 차이를 보였다(Table 3). L층의 유기탄소량이 봄과 여름에 각각 3.33±0.50, 2.01±0.45 ton C/ha이었으며, F층의 경우 각각 3.69±1.22, 2.68±0.50 ton C/ha이었다. 낙엽

Table 3. Seasonal changes of organic carbon (ton/ha) in litter layer of the oak stand (mean ± SD). (n=5)

	Oak stand	
	L-layer	F-layer
Autumn	2.7 ± 0.39	3.4 ± 1.66
Winter	3.1 ± 0.96	3.3 ± 0.92
Spring	3.3 ± 0.50	3.7 ± 1.22
Summer	2.0 ± 0.45	2.7 ± 0.50
Mean	2.8 ± 0.58	3.3 ± 0.41

층 전체의 유기탄소량은 봄, 여름, 가을, 겨울에 각각 7.02, 4.69, 6.13 그리고 6.39 ton C/ha이었다.

Park과 Lee(1981)는 지리산 신갈나무림에서 낙엽층 내 유기탄소량이 2.70 ton C/ha로 보고하였고, Chang과 Lee(1983)는 지리산 피아골의 졸참나무림에서 5.48 ton C/ha로, Chang과 Chung(1986)은 덕유산 신갈나무림에서 16.77 ton C/ha로, Han(2002)은 속리산 신갈나무림에서 6.90 ton C/ha로 보고한 바 있다. 본 조사지의 낙엽층 유기탄소의 양은 이들 조사 결과의 중간 정도로 나타났다. 지역에 따라 유기탄소량이 다소 차이를 보였는데, 이는 임목의 종류, 수령, 밀도 등에 따른 낙엽 생산량의 차이 그리고 낙엽분해율의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

토양의 유기탄소 함량

토양 깊이별 유기탄소 함량은 0~10cm의 표토층이 가장 높은 값을 보였으며 토양의 깊이가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2). 표토층(0~10cm)의 평균 유기탄소 함량은 45.7 gC/kg이었으나 그 아래층(10~20cm)의 경우 33.9 gC/kg으로 감소하였으며, 최 하층은 10.4 gC/kg으로 표토층 탄소함량의 1/4에 불과하였다. 1m 깊이까지 단위 면적 당 토양의 탄소량은 165.19

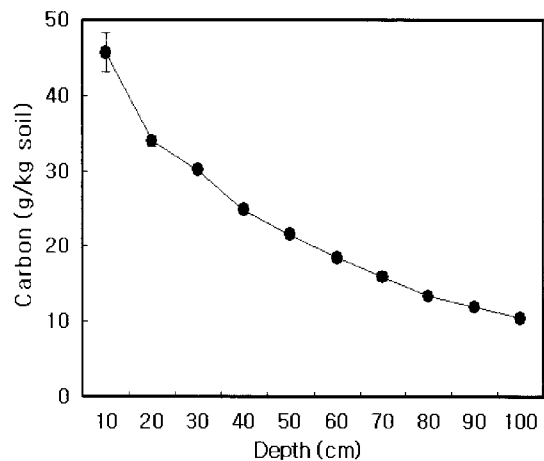


Fig. 2. Variation of organic carbon along the soil depth in the oak stand. Bars indicate SD. (n=4).

ton C/ha이었다. 이중 지표에서부터 50cm 깊이까지의 탄소량이 111.69 ton C/ha로 전체 토양탄소량의 67.6%가 분포하는 것으로 나타났다.

일반적으로 토양 내 유기탄소 함량은 토양의 깊이가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하는 것으로 알려져 있으며 (Eswaran *et al* 1995), 지소에 따른 토양형, 입분의 종류, 유효수분함량, 점토함량 등에 따라 달라진다(Grigal and Ohmann 1992). 본 조사에서도 토양 깊이에 따른 유기탄소 함량은 지수 함수적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 유기탄소 함량이 표토층에서 가장 높게 나타나는 것은 지상부로부터 이입되는 낙엽 그리고 이 깊이에 세균이 집중적으로 분포되어 유기물 공급이 많기 때문으로 판단된다(Persson 1980).

임상에 이입되는 낙엽의 양과 낙엽의 분해에 의해 토양에 첨가되는 유기물의 양은 토양의 유기탄소 함량과 밀접한 관련이 있다. 특히 지하부 생물량의 고사에 의해 첨가되는 유기물이 토양의 유기탄소에 미치는 영향이 크며, 세균은 지상부 근처에 머물지만 굵은 뿌리의 경우 토양 깊이 침투하여 토양의 탄소 저장 능력을 향상시키는 것으로 알려지고 있으나(Pregitzer 2003), 이와 관련된 연구 결과는 많지 않다. 따라서 삼림의 이산화탄소 저장 능력을 파악하기 위해서는 지하부 생물량 및 고사 후의 분해 과정에 대한 정량적인 연구 결과가 필요하다.

토양 호흡량

조사지역에서 측정된 토양 호흡량은 동절기에서 하절기로 갈수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 토양호흡량은 8월 초에 $14.1 \pm 1.5 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 가장 높았으며, 1월에 $1.2 \pm 1.0 \text{ CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 가장 낮았다. 조사지인 상수리나무림의 연간 토양 호흡량 추정치는 $4.38 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났다. 이는 동일지소에서 Lee와 Mun(2001)이 보고한 값에 비해 낮았으나 Son 등(1994)이 활엽수림에서 발표한 연간 토양 호흡량 추정치에 비하여 높은 값이다. Hanson 등(1993)은 참나무가 우점하는 삼림토양에서 연간 발생하는 CO₂의 양

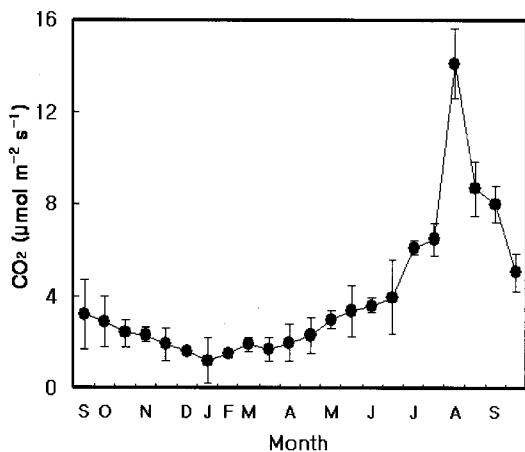


Fig. 3. Seasonal soil respiration in the oak stand. Bars indicate SD. (n=5).

을 $0.6 \sim 3.9 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이라고 보고하였으며, 장경초지에서는 연간 $4.7 \sim 7.8 \text{ CO}_2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (Knapp *et al* 1998)가 발생하는 것으로 보고된 바 있다. 지역에 따른 토양호흡량의 차이는 측정 방법, 식생형, 토양 유기물함량, 토양온도와 수분 함량 등에서 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다.

상수리나무림의 탄소분포와 유동

조사지 상수리나무림의 탄소 저장고 별 저장량과 저장고 간의 유동량을 Fig. 4에 종합하였다. 조사지역의 상수리나무림은 순광합성에 의해 연간 15.84 ton C/ha 을 고정하였으며, 이것은 잎과 생식기관, 가지, 줄기 그리고 뿌리에 각각 1.71, 4.03, 7.34, 2.76 ton C/ha로 배분되었다. 연간 낙엽생산을 통해 총 2.35 ton C/ha 가 임상에 유입되는데, 이를 유형별로 구분하면 잎, 생식기관, 가지, 기아가 각각 1.50, 0.21, 0.42, 0.22 ton C/ha이었다. 임상의 낙엽층 평균 탄소량은 총 6.06 ton C/ha 이었으며, L 층은 2.80 ton C/ha , F층은 3.26 ton C/ha 으로 F층에서 많았다. 당년에 생산된 상수리나무 낙엽은 분해과정을 거쳐 토양 유기물로 전환되는데, 낙엽의 구성 성분에 따라 수용성 구성원의 경우 미생물이 직접 이용가능하고 쉽게 용출되어 탄소순환에 참여하지만 섬유소나 리그닌 등은 분해가 느리기 때문에 서서히 토양 유기탄소로 전환된다. 따라서 생태계 구성원 사이의 탄소 유동량을 파악하기 위해서는 낙엽의 질에 따른 분해율에 대한 조사가 필요하다(Swift *et al.* 1979).

1m 깊이까지의 토양의 탄소 저장량은 165.19 ton C/ha 이었으

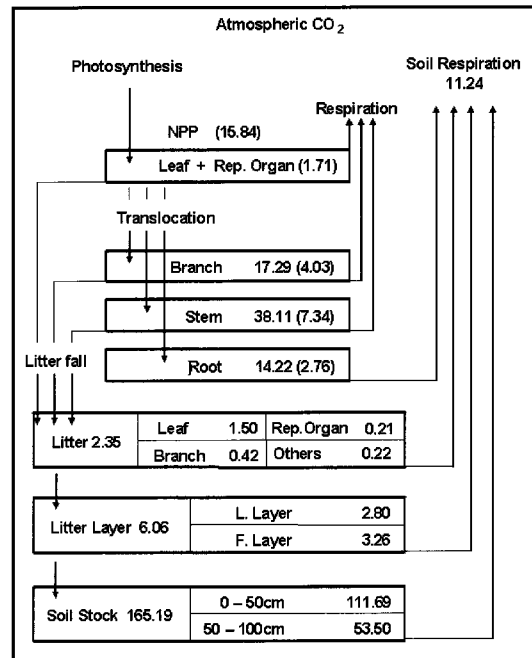


Fig. 4. Compartment model showing the distribution and flow of organic carbon in the oak stand. Box: standing carbon (ton C/ha), arrow: flux (ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹). Parenthesis indicate NPP (ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹).

며, 표층에서 50cm 깊이까지에 저장된 탄소량(111.69ton C/ha)은 50~100cm 깊이의 토양에 저장된 탄소량(63.60ton C/ha)보다 1.76 배 많았다. 이것은 임상의 낙엽이 분해되면서 표층토양에 유기물을 공급하는 데에도 원인이 있지만 표층에서 30cm 깊이에 세균이 주로 분포하기 때문인 것으로 판단된다(Persson 1980). 상수리나무림 임장에서 토양호흡을 통해 방출되는 탄소량은 11.96 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹로 조사되었다. 토양호흡에는 뿌리호흡과 토양미생물에 의한 호흡이 포함되어 있다. Coleman (1973)은 토양호흡 중 뿌리호흡이 차지하는 비율이 3~9%인 것으로 보고한 바 있다. 이 범위의 평균치를 본 조사에 적용하면 뿌리호흡의 양은 0.72 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹으로 계산되며, 토양호흡을 통해 방출되는 탄소량은 11.24 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹이다. 따라서 조사지의 상수리나무림은 대기 중으로부터 연간 4.60 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹을 순흡수하였다.

조사지역 상수리나무림의 총 탄소량은 242.59 ton C/ha이었으며, 이 중 지상부 생물량에 57.12 ton C/ha(23.5%), 지하부 생물량에 14.22 ton C/ha(5.9%), 지상부 낙엽층에 6.06 ton C/ha(2.5%) 그리고 토양에 165.19 ton C/ha(68.1%)가 분포하는 것으로 파악되었다. 낙엽을 제외한 지상부와 지하부 생물량에 저장되어 있는 탄소는 전체 탄소량의 29.3%에 해당되었다.

적 요

삼림생태계의 유기탄소 분포를 파악하기 위하여, 공주지역 상수리나무림에서 연순생산량, 연간 낙엽생산량, 임상 낙엽층의 유기탄소량, 토양의 유기탄소량, 연간 토양호흡량을 조사하였다. 조사기간 중 상수리나무림의 순일차생산량은 15.84 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹으로 추정되었으며, 일과 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리에 각각 1.71, 4.03, 7.34, 2.76 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹이 배분되었다. 연간 낙엽생산량은 5.21 ton · ha⁻¹ · yr⁻¹이었으며, 생산된 낙엽을 통해 연간 임상으로 이입되는 유기탄소량은 2.35 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹이었다. 상수리나무 임상 낙엽층의 평균 유기탄소량은 6.06 ton C/ha로 조사되었으며, L층의 유기탄소량은 동절기에서 하절기로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 토양층별 유기탄소 함량은 표층에서 하층으로 갈수록 낮아졌으며, 본 상수리나무림 토양의 단위면적당 유기탄소량은 165.19 ton C/ha로 조사되었다. 상수리나무림은 토양호흡을 통해 연간 11.24 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹를 대기 중으로 방출하였다. 조사지의 상수리나무림은 대기 중으로부터 연간 4.60 ton C · ha⁻¹ · yr⁻¹을 순흡수하였다.

인용문헌

- Chae, M.I. and J.H. Kim. 1977. Comparisons of biomass, productivity and productive structure between Korean alder and oak stands. Korean J. Ecol. 1: 57-65.
- Chang, N.K. and I.J. Lee. 1983. A study of matter production and decomposition of *Quercus serrata* and *Carpinus Laxiflora* forests at Piagol in Mt. Jiri. Korean J. Ecol. 6(3): 198-207.
- Chang, N.K. and M.A. Chung. 1986. A study on the production and decomposition of litters along altitude of Mt. Dokyoo. Korean J. Ecol. 9(4): 185-192.
- Chapman, S.B. 1979. Some interrelationship between soil and root respiration in Lowland Calluna Heathland in southern England. J. Ecol. 67:1-20.
- Coleman, D. 1973. Compartment analysis of total soil respiration: an exploratory study. Oikos 24: 465-468.
- Eswaran, H., E. Van den Berg, P. Reich and J. Kimble. 1995. Global soil carbon resources. In Soils and Global Change. eds. R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart. pp. 27-44.
- Grigal, D.F. and L.F. Ohmann. 1992. Carbon storage in upland forests of the Lake States. Soil Sci. Am. J. 56: 935-945.
- Han, D.Y. 2002. Carbon cycle modelling by litter decomposition rate and estimation of carbon dioxide budget in *Quercus mongolica* forest at Mt. Songni National Park. Ph.D. Thesis. Chungbuk National University. 207 p.
- Hanson, P.J., S.D. Wullschlegel, S.A. Bohlman and D.E. Todd. 1993. Seasonal topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. Tree Physiol. 13: 1-15.
- Houghton, R.A., J.E. Hobbie, J.M. Melillo, B. Moore, B.J. Peterson, G.R. Shaver and G.M. Woodwell. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. Ecol. Monogr. 53: 235-262.
- Johnson, C.A., P. Groffman, D.D. Breshears, Z.G. Cardon, W. Currie, W. Emanuel, J. Gaudinski, R.B. Jackson, K. Lajtha, K. Nadelhoffer, D. Nelson Jr., W.M. Post, G. Retallack and L. Wielopolski. 2004. Carbon cycling in soil. Fron. Ecol. Environ. 2(10): 522-528.
- Johnson, F.L. and P.G. Risser. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackhack oak forest. Ecology 55: 1246-1258.
- Kimble, J.M., L.S. Heath, R.A. Birdsey and R. Lal. 2003. The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, New York. 429 p.
- Kira, T. and T. Shidei. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Jap. J. Ecol. 17: 70-87.
- 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. Ecol. Appl. 4: 760-770.
- Lee, Y.Y. and H.T. Mun. 2001. A study on the soil respiration in *Quercus acutissima* forest. Korean J. Ecol. 24: 141-147.
- Montagu, K.D., A. Cowie, A. Rawson, B.R. Wilson and B.H. George. 2003. Carbon sequestration predictor for land use change in inland areas of New South Wales-background, user notes, assumptions and preliminary model testing. Version 2.0. Research and Development Division State Forests of New South Wales. Sidney. p. 35.
- Morris, S.J. and E.A. Paul. 2003. Forest soil ecology and soil organic carbon. In: J.M. Kimble, L.S. Heath, R.A. Birdsey and R. Lal (eds.), The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, New York. pp. 109-125.

- Mun, H.T. and H.T. Joo. 1994. Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. Korean J. Ecol. 17: 345-353.
- Park, B.K. and I.S. Lee. 1981. A model for litter decomposition of the forest ecosystem in South Korea. Korean J. Ecol. 4: 38-51.
- Persson, H. 1980. Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in Central Sweden. Oikos 34: 77-87.
- Pregitzer, K.S. 2003. Carbon cycling in forest ecosystems with an emphasis on belowground processes. In: J.M. Kimble, L.S. Heath, R.A. Birdsey and R. Lal (eds.), The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press, New York. pp. 93-107.
- Pyo, J.H., S.U. Kim and H.T. Mun. 2003. A study on the carbon budget in *Pinus koreansis* plantation. Korean J. Ecol. 26: 129-134.
- Schlesinger, W.H. 1997. Biogeochemistry: An analysis of global change. Academic Press, San Diego, California.
- Son, Y.H., 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.
- Song, C.Y., K. Chang, K. Park and S. Lee. 1997. Analysis of carbon fixation in natural forests of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis*. J. Korean For. Soc. 86: 35-45.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology. Vol. 5. Univ. of California Press, Berkley & Los Angeles. 372p.
- Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. Science 247: 1431-1438.
- Vitousek, P.M. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? J. Environ. Qual. 20: 348-354.
(2005년 4월 22일 접수; 2005년 10월 10일 채택)