

## 월악산 용하계곡 굴참나무림의 유기탄소 분포 및 수지

남궁정 · 최현진 · 한아름 · 문형태\*

공주대학교 자연과학대학 생명과학과

### Organic Carbon Distribution and Budget in the *Quercus variabilis* Forest in the Youngha valley of Worak National Park

Jeong Namgung, Hyeon-Jin Choi, A-Reum Han and Hyeong-Tae Mun\*

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

**Abstract** – Organic carbon distribution and carbon budget of a *Quercus variabilis* forest in the Youngha valley of Mt. Worak National Park were investigated. Carbon in above and below ground standing biomass, litter layer, and soil organic carbon were measured from 2005 through 2006. For the estimation of carbon budget, soil respiration was measured. The amount of carbon allocated to above- and below-ground biomass was 56.22 and 13.90 ton C ha<sup>-1</sup>. Amount of organic carbon in annual litterfall was 2.33 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Amount of soil organic carbon within 50 cm soil depth was 119.14 ton C ha<sup>-1</sup> 50 cm-depth<sup>-1</sup>. Total amount of organic carbon in this *Q. variabilis* forest was 193.96 ton C ha<sup>-1</sup>. Of these, 61.43% of organic carbon was allocated in the soil. Net increase of organic carbon in above- and below-ground biomass in this *Q. variabilis* forest was estimated to 7.68 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The amount of carbon evolved through soil respiration was 6.21 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Net amount of 1.47 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> was absorbed from the atmosphere by this *Q. variabilis* forest.

**Key words** : carbon budget, carbon distribution, organic carbon, *Quercus variabilis*, soil organic carbon, soil respiration

## 서 론

전 지구적 측면에서 볼때 온실효과의 증폭으로 인한 기후변화와 그로 인한 생태계의 변화에 관심이 집중되어 있다 (Boyland 2006). 이산화탄소는 인위적으로 배출되는 온실가스 중 기후변화에 미치는 영향이 가장 큰 기체이며 (Houghton and Woodwell 1989), 대기 중 이산

화탄소 농도는 산업화 이전의 280 ppm에서 2005년에는 379 ppm으로 증가하였고, 연간 이산화탄소 증가율은 최근 10년 동안 가장 높아 평균 1.9 ppm yr<sup>-1</sup>의 증가를 보이고 있다 (Watson and Noble 2005).

대기 중으로 방출된 이산화탄소는 해양과 육상생태계에 흡수되고 나머지는 대기 중에 잔존하게 되는데, 육상생태계 중 산림은 지상부와 지하부 생물량, 고사목을 포함한 낙엽층 그리고 토양 유기물의 형태로 많은 양의 탄소를 저장하고 있다 (Dixon *et al.* 1994; Boyland 2006; Jeon *et al.* 2007). 따라서 대기 중의 이산화탄소를 저감하

\* Corresponding author: Hyeong-Tae Mun, Tel. 041-850-8499, Fax. 041-850-8505, E-mail. htmun@kongju.ac.kr

여 지구 온난화를 방지하기 위한 일환으로 산림생태계의 탄소 저장능력을 증가시키려는 연구가 전 세계적으로 진행 중에 있다(Law *et al.* 2001; Sohngen and Mendelsohn 2003; Richards and Stokers 2004; McKenny *et al.* 2004).

교토의정서 비준국가들의 탄소 저감 목표치를 달성하기 위한 방법으로 산림탄소 저장량을 증가시키는 방안에 대하여 인센티브를 주고 있는데, 신규 조림이나 재조림 그리고 산림 관리를 통해 탄소 저감량을 증가시키는 것이 해당된다(Grace 2005). 우리나라는 2013년부터 2017년까지 온실가스 2차 의무감축기간에 이산화탄소 배출 감축 의무대상국으로 지정될 가능성이 높다. 따라서 국내 자연생태계 중 산림생태계의 탄소 저장능력과 탄소 저장량을 증가시키는 방안에 관한 연구가 시급히 요청되고 있다.

국내에서는 탄소순환과 연관된 부분적인 연구가 일부 수행된 바 있다. Son *et al.* (1994, 2004)은 산림생태계에서 토양의 이산화탄소 방출량을 조사한 바 있으며, Kim and Cho (2004)는 산림토양의 탄소함량을 정량적으로 조사하였다. Kim (2006)은 소나무림에서, 이와 문 (2001)은 상수리나무림에서 토양의 탄소 방출량을 보고한 바 있다. 그러나 산림생태계의 지상부 생물량, 낙엽 그리고 토양에 포함되어 있는 탄소 저장량에 관한 연구는 많지 않은 실정이다(이와 문 2005; Jeon *et al.* 2007).

본 연구는 국가장기생태연구사업의 일환으로 월악산 국립공원에 형성되어 있는 굴참나무림에서 지상부와 지하부 생물량, 낙엽층 그리고 토양의 유기탄소 저장량을 파악하여 산림을 통한 대기 중 이산화탄소 저감을 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

월악산국립공원 용하계곡에 발달되어 있는 굴참나무림은 해발고도 약 330 m의 남서사면에 위치하고 있다(N36° 53'19", E128° 68'55"). 2005년 4월에 3개의 10 m × 20 m 영구방형구를 설치하고 매목조사를 실시하였다. 교목의 밀도는 2,550 본 ha<sup>-1</sup>, 평균 수령은 20~30년, 평균 흉고직경과 평균 수고(mean ± SD)는 2005년 4월에 각각 12.1 ± 4.80 cm, 9.8 ± 3.16 m, 2006년 4월에는 각각 12.4 ± 4.93 cm, 10.4 ± 3.27 m이었다. 관목층에는 생강나무 (*Lindera obtusiloba*)와 누리장나무 (*Clerodendron trichotomum*)가 매우 낮은 밀도로 분포하고 있었으며, 초본층은 매우 빈약하였다. 본 조사지에서 약 30 km 떨어져 있는 제천측후소의 자료에 의하면 1976년부터 2005

년까지 30년 동안의 연평균 기온은 10.1°C, 연평균 강수량은 1,349.8 mm이었다.

굴참나무의 지상부 현존량은 최와 박(1993)이 발표한 상대생장식을 이용하였다. 지하부의 현존량은 지상부 현존량의 25%로 계산하였으며 (Johnson and Risser 1974), 관목층의 현존량 측정을 위해 2005년 및 2006년 8월에 영구방형구 밖에서 각각 3개의 1 m × 2 m 방형구를 설정하고 그 안에 있는 관목을 채취하여 건조시킨 후 무게를 측정하였다.

조사지에 5개의 원형 낙엽수거기를 설치하여 2005년 5월부터 2006년 4월까지 매달 낙엽을 수거하여 잎과 목질부, 생식기관, 기타로 구분한 뒤 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 식물체와 낙엽의 탄소 함량은 건량의 45%로 계산하였다(Houghton *et al.* 1983).

5개의 25 cm × 25 cm 방형구를 이용하여 분기별(2005년 6월, 9월, 12월, 2006년 3월)로 임상 낙엽량을 측정하였다. L층과 F층으로 구분하여 채집후 향량이 될 때까지 건조시켜 칭량하였다. 임상 낙엽의 유기물 함량을 측정된 뒤 유기탄소량으로 계산하였다(Black 1965).

토양의 유기탄소량을 정량하기 위하여 영구방형구 밖의 임의의 3지점에서 지표에서 50 cm 깊이까지 10 cm 간격으로 분기별로 토양을 채집하였으며, Choi *et al.* (2006)의 방법에 따라 가비중 및 석력함량을 측정하였다. 토양의 유기물 함량은 600°C 전기로에서 작열소실법으로 측정하여 이를 유기탄소량으로 계산하였다(Black 1965). 토양가비중, 유기물함량, 석력함량 값을 이용하여 토양의 유기탄소량을 계산하였다(Arnold 1995).

토양온도는 5 cm와 15 cm 깊이에 토양온도계 sensor (T & D Thermo Recorder)를 묻고 조사기간 동안 매일 1시간 간격으로 자동 측정하였다. 매일 상층(0~10 cm)과 하층(10~20 cm)으로 구분하여 채집한 토양의 수분함량을 측정하였고, 토양호흡량은 적외선 가스분석기(CI 301 CO<sub>2</sub> Gas Analyzer)를 이용하여 측정하였다(Jeon *et al.* 2007). 토양온도와 호흡량 사이의 회귀식을 이용하여 연간 호흡량을 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식물체의 유기탄소량

2005년과 2006년 조사지 굴참나무림의 지상부와 지하부 생물량에 들어있는 유기탄소 현존량과 1년 동안의 순 증가량을 Table 1에 종합하였다. 교목층의 줄기, 가지, 잎과 생식기관 그리고 뿌리에 함유되어 있는 유기탄소

**Table 1.** Standing carbon (ton C ha<sup>-1</sup>) in 2005 and 2006, and net increase of carbon (ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) of the *Q. variabilis* forest in the study area

Layer	Organs	Standing carbon		Net increase
		2005	2006	
Tree layer	Leaf + Rep. Organ	1.78	1.85	1.85
	Branch	12.30	13.52	1.22
	Stem	36.81	40.22	3.41
	Root	12.72	13.90	1.18
	Sub-total	63.61	69.49	7.66
Shrub layer		0.61	0.63	0.02
Total		64.22	70.11	7.68

현존량은 2005년에 각각 36.81, 12.30, 1.78 그리고 12.72 ton C ha<sup>-1</sup>이었고, 관목층의 지상부 유기탄소 현존량은 0.61 ton C ha<sup>-1</sup>이었다. 2006년의 교목층의 줄기, 가지, 잎과 생식기관 그리고 뿌리에 함유되어 있는 유기탄소 현존량은 각각 40.22, 13.52, 1.85, 13.90 ton C ha<sup>-1</sup>이었으며, 관목층의 유기탄소 현존량은 0.63 ton C ha<sup>-1</sup>이었다. 잎과 생식기관의 유기탄소량은 1년 동안 낙엽수거기를 통해 수거된 낙엽과 생식기관의 양으로 계산하였다.

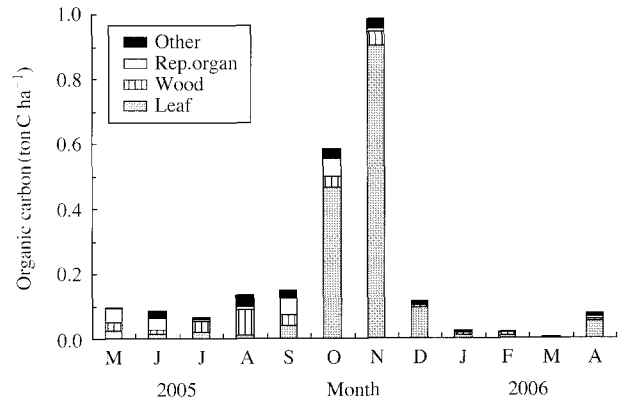
굴참나무림의 식물체에 들어있는 전체 유기탄소의 양은 2005년에 64.22 ton C ha<sup>-1</sup>, 2006년에는 70.11 ton C ha<sup>-1</sup>으로 1년 동안에 7.68 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>의 유기탄소가 증가한 것으로 조사되었다. 교목층의 유기탄소량은 전체 식물의 유기탄소 현존량의 약 99.1%를 차지하였다. 본 조사지 굴참나무림은 임분밀도가 높고 수령이 비교적 낮아 순생산량이 많은 것으로 판단된다. 임분의 순생산량은 조사지의 수종과 수령, 임분밀도 그리고 토양의 비옥도에 따라 매우 큰 차이가 있을 것으로 예상된다(이와 문 2005; Choi *et al.* 2006).

**2. 생산된 낙엽의 유기탄소**

굴참나무림의 낙엽생산은 연중 계속되었으나 가을에 최대값을 보였다(Fig. 1). 전체 낙엽생산량의 25.0%인 1.29 ton ha<sup>-1</sup>가 10월에, 42.2%인 2.19 ton ha<sup>-1</sup>가 11월에 생산되어 10월과 11월에 연간생산량의 67.2%가 생산되었다.

조사기간 동안 낙엽수거기에 회수된 내용물은 총 5.18 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>이었으며, 이를 유기탄소로 전환하면 총 2.33 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>로 잎이 1.64 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 목질부가 0.29 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 생식기관이 0.22 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 기타가 0.18 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>으로 나타났다.

낙엽의 생산량은 군락의 종류, 임분의 밀도와 수령, 그리고 지역의 특성에 따라 변이가 심하며(Sharma and



**Fig. 1.** Seasonal organic carbon of litterfall in the *Q. variabilis* forest in the study area.

**Table 2.** Seasonal changes of organic carbon (ton C ha<sup>-1</sup>) in litter layer of the *Q. variabilis* forest in the study area (mean ± SD)

Date	L-layer	F-layer	Total
Jun. 2005	2.4 ± 0.81	1.6 ± 0.39	4.0 ± 0.60
Sep. 2005	1.7 ± 0.49	1.8 ± 0.48	3.5 ± 0.45
Dec. 2005	3.7 ± 1.35	1.7 ± 0.63	5.4 ± 1.01
Mar. 2006	2.9 ± 1.02	2.9 ± 0.82	5.9 ± 0.85
Mean	2.7 ± 0.89	2.0 ± 0.56	4.7 ± 1.01

Ambasht 1987), 생산된 낙엽은 분해과정을 통해 그 지역 토양의 이화학적 특성을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Choi *et al.* 2006).

**3. 임상 낙엽층의 유기탄소량**

낙엽층 유기탄소량의 평균값을 Table 2에 종합하였다. 낙엽층 별 유기탄소량의 범위는 L층이 1.7~3.7 ton C ha<sup>-1</sup>, F층이 1.6~2.9 ton C ha<sup>-1</sup>이었고, 평균 유기탄소량은 L층이 2.7 ± 0.89 ton C ha<sup>-1</sup>, F층이 2.0 ± 0.56 ton C ha<sup>-1</sup> (mean ± SD)로 L층이 F층보다 다소 높았다.

본 조사지의 낙엽층 유기탄소량은 국내에서 조사된 낙엽층 내 유기탄소량인 2.7~6.9 ton C ha<sup>-1</sup>(박과 이 1981; 장과 김 1983; 한 2002)의 중간 정도인 것으로 나타났다. 지역에 따라 유기탄소량이 다소 차이를 보였는데, 이는 수종, 수령, 밀도 등에 따라 낙엽생산량이 다르고, 지역에 따른 낙엽분해율의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

**4. 토양의 유기탄소량**

본 조사지역에서 토양 깊이별 유기탄소량은 0~10 cm의 표토층에서 가장 높음은 32.27 ton C ha<sup>-1</sup>를 나타내고

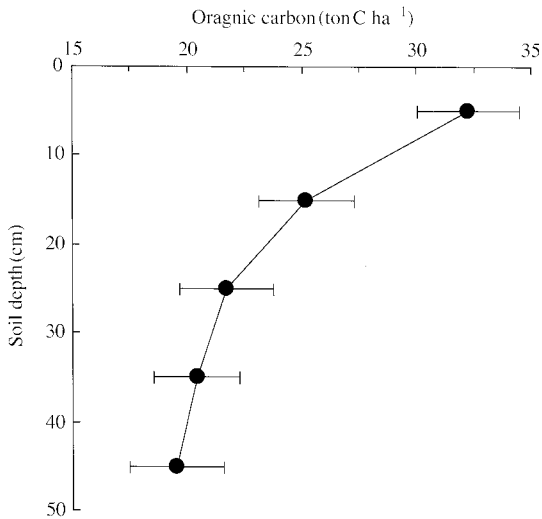


Fig. 2. Variation of organic carbon along the soil depth in the *Q. variabilis* forest in the study area. Bars indicate standard deviation.

있으며, 깊이가 깊어짐에 따라 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 일반적으로 토양 내 탄소량은 깊이가 깊어짐에 따라 지수함수적으로 감소하는 것으로 알려져 있다 (Eswaran *et al.* 1995). 유기탄소량이 표토층에서 가장 높게 나타난 것은 산림토양의 일반적인 특징으로서, 지상 부로부터 유입된 낙엽, 죽은 가지나 줄기 등과 같은 유기물이 분해되어 표토층으로 유입되었기 때문이며, 세균 또한 이 깊이에 주로 분포하여 생산과 분해를 반복하기 때문이다 (Armson 1977; 정 등 1998).

본 굴참나무림에서 50 cm 깊이까지 단위면적당 토양의 유기탄소량은 119.14 ton C ha<sup>-1</sup> 50 cm-depth<sup>-1</sup>이었다. 박 (1999)은 굴참나무림과 신갈나무림이 0~50 cm 깊이까지 67.8 ton C ha<sup>-1</sup>와 67.0 ton C ha<sup>-1</sup>의 유기탄소를 저장하고 있다고 보고한 바 있으며, 정 등 (1998)은 전국 평균 참나무림 임분에서 95 ton C ha<sup>-1</sup>, 충북지역에서 68 ton C ha<sup>-1</sup>의 유기탄소를 축적하고 있다고 보고한 바 있다.

5. 토양온도와 수분함량

조사지의 토양온도는 8월에 평균 22.2°C로 가장 높았고 12월에 평균 2.2°C로 가장 낮게 측정되었으며, 연간 토양의 평균온도는 12.3°C이었다 (Fig. 3A). 토양의 수분함량은 하절기에는 상, 하층의 차이가 다소 있었으나 동절기에는 거의 없는 것으로 나타났다 (Fig. 3B). 상층토양의 수분함량은 평균 20.6%, 하층토양은 평균 19.0%이었으며, 조사기간 중 10월에 각각 24.5, 22.8%로 가장 높게 나타났고, 11월에 13.5, 13.6%로 가장 낮게 나타났다.

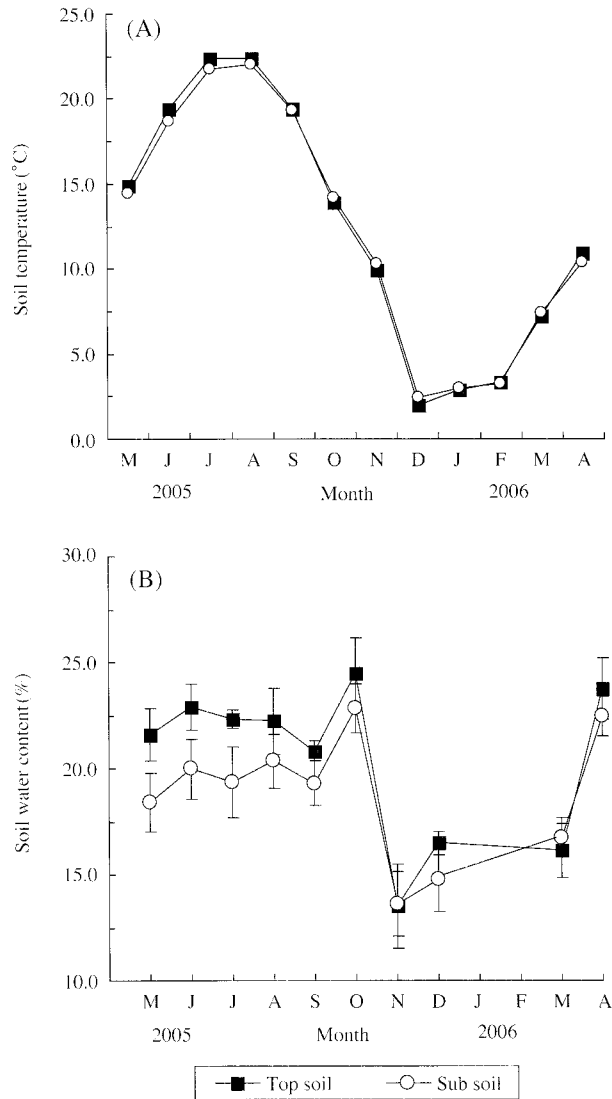


Fig. 3. Seasonal soil temperature (A) and water content (B) in the *Q. variabilis* forest in the study area. Bars indicate standard deviation.

토양의 수분함량은 뿌리의 깊이, 뿌리호흡 그리고 토양미생물의 군집 구성원에 영향을 미치며 (Billings *et al.* 1998). 그 결과 토양호흡량에도 차이를 나타낼 수 있다 (Witkamp 1969). Davidson *et al.* (1998)은 온대활엽수림에서 토양수분 조건이 건조하거나 과도한 기간에는 토양호흡량이 감소하며, 토양습수율과 토양호흡량간의 관련성에 대해서는 토양 내 수분함량이 과다 혹은 과부족 상태가 아니면 영향이 크지 않은 것으로 보고한 바 있다.

6. 토양 호흡량

굴참나무림의 토양호흡량은 동절기에서 하절기로 갈

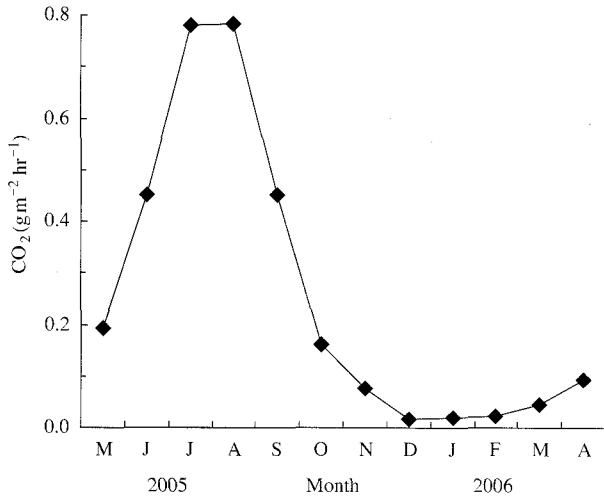


Fig. 4. Seasonal soil CO<sub>2</sub> evolution in the *Q. variabilis* forest in the study area.

수륙 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). 토양 호흡량은 토양온도가 높은 8월에 0.783 CO<sub>2</sub> g m<sup>-2</sup> hr<sup>-1</sup>로 가장 높았으며, 12월에는 0.017 CO<sub>2</sub> g m<sup>-2</sup> hr<sup>-1</sup>로 가장 낮게 나타났다. 토양호흡에는 뿌리호흡과 토양미생물에 의한 호흡이 포함되어 있는데, Koo *et al.* (2005)은 토양호흡 중 뿌리호흡의 비율을 평균 46% 정도로 볼 수 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 토양호흡 중 뿌리호흡이 차지하는 비율을 46%로 계산하였다. 굴참나무림의 연간 토양호흡량은 22.75 CO<sub>2</sub> ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>으로 측정되었으며, 이 값을 유기탄소량으로 전환하면 6.21 ton ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>이었다.

7. 굴참나무림의 유기탄소 분포와 수치

본 굴참나무림 각 탄소저장고 별 탄소분포와 수치를 Fig. 5에 종합하였다. 굴참나무림은 교목의 지상부 생물량에 56.22 ton C ha<sup>-1</sup>, 관목의 지상부 생물량에 0.63 ton C ha<sup>-1</sup>의 유기탄소를, 지하부 생물량에 13.90 ton C ha<sup>-1</sup>를 저장하고 있었으며, 순광합성에 의해 연간 7.68 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>를 고정하였다. 연간 낙엽생산을 통해 총 2.33 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>가 임상에 유입되었으며, 임상 낙엽층의 평균 유기탄소량은 4.70 ton C ha<sup>-1</sup>로 L층이 F층보다 다소 높은 것으로 나타났다. 토양 유기탄소 저장량은 119.14 ton C ha<sup>-1</sup> 50 cm-depth<sup>-1</sup>이며, 임상에서 토양호흡을 통해 6.21 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>의 탄소를 방출하였다. 따라서 본 조사지 굴참나무림은 대기 중으로부터 1.47 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>을 순흡수하는 것으로 조사되었다.

본 굴참나무림의 총 유기탄소량은 193.96 ton C ha<sup>-1</sup>이며, 이 중 지상부 생물량에 56.22 ton C ha<sup>-1</sup> (28.98%), 지하부 생물량에 13.90 ton C ha<sup>-1</sup> (7.16%), 임상 낙엽층에

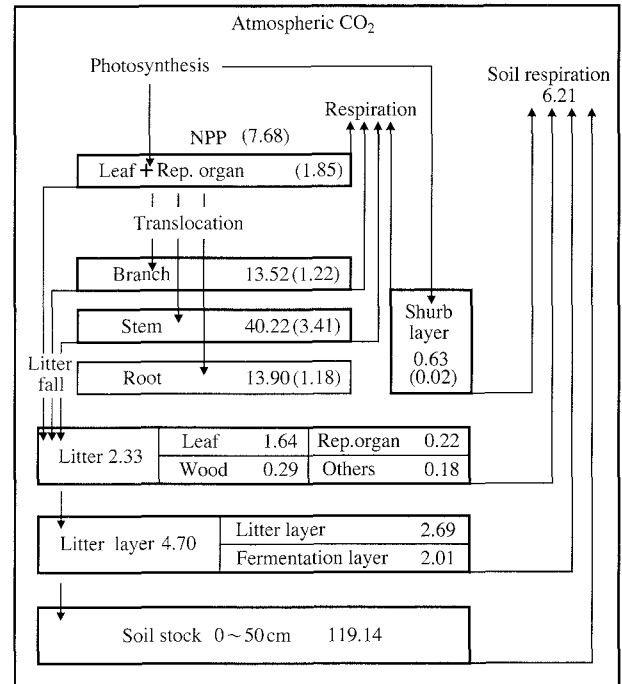


Fig. 5. Compartment model showing the distribution and flow of organic carbon in the *Q. variabilis* forest. Boxes: standing carbon (ton C ha<sup>-1</sup>), arrows: flux (ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>). Numerals in parenthesis indicate NPP (ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>).

4.70 ton C ha<sup>-1</sup> (2.42%), 토양에 119.14 ton C ha<sup>-1</sup> (61.43%)으로 토양에 가장 많은 탄소가 분포하고 있는 것으로 나타났다.

적 요

월악산 용하계곡에 발달되어 있는 굴참나무림에서 2005년부터 2006년까지 지상부와 지하부 생물량, 낙엽층 그리고 토양의 유기탄소의 분포를 조사하였으며, 탄소수치를 파악하기 위해 토양 호흡량을 측정하였다. 지상부와 지하부 생물량에 분포된 탄소량은 각각 56.22, 13.90 ton C ha<sup>-1</sup>이었으며, 낙엽층과 토양의 유기탄소량은 각각 4.7 ton C ha<sup>-1</sup>, 119.14 ton C ha<sup>-1</sup> 50 cm-depth<sup>-1</sup>로, 조사지 굴참나무림의 전체 유기탄소량은 193.96 ton C ha<sup>-1</sup>이었으며, 이중 61.43%의 유기탄소가 토양에 분포하는 것으로 조사되었다. 본 굴참나무림에서 연간 지상부와 지하부 생물량에 의한 유기탄소의 순증가량은 7.68 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>이었으며, 토양호흡을 통해 6.21 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>의 유기탄소가 방출되어 본 굴참나무림에서는 연간 대기로부터 1.47 ton C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>가 순흡수되는 것으로 조사되었다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 “국가장기생태연구사업”의 지원에 의하여 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- 박관수. 1999. 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 지상부 및 토양 중 탄소고정에 관한 연구. 한국임학회지. 88:93-100.
- 박봉규, 이인숙. 1981. 남한의 삼림생태계에 있어서의 낙엽의 분해모델. 한국생태학회지. 4:38-51.
- 이규진, 문형태. 2005. 상수리나무림의 유기탄소 분포에 관한 연구. 한국생태학회지. 28:265-270.
- 이윤영, 문형태. 2001. 상수리나무림의 토양호흡에 관한 연구. 한국생태학회지. 24:141-147.
- 장남기, 김인자. 1983. 지리산 피아골의 졸참나무와 서나무 군락의 물질생산과 분해에 관한 연구. 한국생태학회지. 6:198-207.
- 정진현, 김춘식, 이원규. 1998. 지역별, 임분별 산림토양내 탄소량 추정. 산림과학논문집. 57:178-183.
- 최영철, 박인협. 1993. 전남 모후산지역 굴참나무 천연림과 현사나무인공림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지. 82:188-194.
- 한동렬. 2002. 속리산 신갈나무(*Quercus mongolica*)림의 낙엽분해율과 CO<sub>2</sub> 수지 분석에 의한 탄소순환 모델링. 충북대학교 박사학위논문. 207pp.
- Arnold RW. 1995. Role of soil survey in obtaining a global carbon budget. In soils and global change. eds. R Lal, J Kimble, E Levine, BA Stewart. pp. 257-263.
- Armson KA. 1977. Forest Soil: Properties and Processus. Toronto, Ont. (Canada), Univ. of Toronto Press. 390pp.
- Billings SA, EE Richter and J Yarie. 1998. Soil carbon dioxide fluxes and profile concentrations in two boreal forests. Can. J. For. Res. 28:1773-1783.
- Black CA. 1965. Methods of soil analysis, part 2. American society of agronomy, Inc., Madison, Wisconsin. pp. 1562-1565.
- Boylard M. 2006. The economics of using forests to increase carbon storage. Can. J. For. Res. 36:2223-2234.
- Choi HJ, IY Jeon, CH Shin and HT Mun. 2006. Soil properties of *Quercus variabilis* forest on Youngha valley in Mt. Worak National Park. J. Ecol. Field Biol. 29:439-443.
- Davidson ED, E Belk and RD Boone. 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in temperature mixed hardwood forest. Global Change Biol. 4:212-217.
- Dixon RK, S Brown, RA Houghton, AM Solomon, MC Trexler and L Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263:185-190
- Eswaran HE, 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 BA Stewart. 27-44.
- Grace J. 2005. Role of forest biomass in the global carbon balance. pp. 19-45. In: The carbon balance of forest biomes. H Griffiths and PG Jarvis. (eds). Taylor and Francis. USA. 355pp.
- Houghton RA, JE Hobbie, JM Melillo, B Moore, BJ Peterson, GR Shaver and GM Woodwell. 1983. Changes in the carbon cycle of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A new release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. Ecol. Monogr. 53:235-262.
- Houghton RA and GM Woodwell. 1989. Global climate change. Scientific American 260:36-44.
- Jeon, IY, CH Shin, GH Kim and HT Mun. 2007. Organic Carbon Distribution of the *Pinus densiflora* Forest on Songgye Valley at Mt. Worak National Park. J. Korean For. Soc. 30:17-21.
- Johnson FL and PG Risser. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackjack oak forest. Ecology 56:1246-1258.
- Kim CS. 2006. Soil carbon cycling and soil CO<sub>2</sub> efflux in a red pine (*Pinus densiflora*) stand. J. Ecol. Field Biol. 29:23-27.
- Kim CS and HS Cho. 2004. Quantitative comparisons of soil carbon and nutrient storage in *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora* and *Pinus rigitaeda* plantations. Korean J. Ecology. 27:67-71.
- Koo JW, YH Son, RH Kim and J Kim. 2005. A study on methods of separation soil respiration by source. Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology. 7:28-34.
- Law BE, PE Thornton, J Irvine, PM Anthoni and S Vantuyt. 2001. Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different developmental stages. Global Change Biology. 7:755-777
- McKenny GW, D Yemshanov, G Fox and E Ramlal. 2004. Cost estimate for carbon sequestration from fast growing popular plantation in Canada. For. Policy Econ. 6:345-358.
- Richards KR and C Stokers. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. Climate Change 63:1-48.
- Sharma E and RS Ambasht. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. J. Ecol. 75:997-1010.
- Sohngen B and R Mendelsohn. 2003. An optimal control model of forest carbon sequestration. American J. of Agricultural Economics 85:448-457.

- Son YH, G Lee and JY Hong. 1994. Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 27:290-295.
- Son YH, IH Park, HO Jin, MJ Yi, DY Kim, RH Kim and JO Hwang. 2004. Biomass and nutrient cycling of natural oak forest in Korea. *Ecological Issues in a Changing World-Status, Responses and Strategy-*, S.K. Hong *et al.* (Eds), Kluwer Academic Publishers. pp. 217-232.
- Watson RT and IR Noble. 2005. The global imperative and policy for carbon sequestration. pp. 1-17. *In: The carbon balance of forest biomes*. H Griffiths and PG Jarvis. (eds). Taylor and Francis. USA. 355pp.
- Witkamp M. 1969. Cycle of temperature and carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* 50:922-924.

Manuscript Received: June 24, 2008  
Revision Accepted: August 5, 2008  
Responsible Editor: Youngil Youn