

## 계룡산 국립공원 산림생태계의 탄소축적량 산정에 관한 연구

장지혜 · 이준석 · 정지선 · 송태영<sup>1</sup> · 이경재<sup>1</sup> · 서상욱<sup>2</sup> · 이재석\*

건국대학교 생명과학과, <sup>1</sup>산림과학원 산림생산기술연구소, <sup>2</sup>국립농업과학원

**A Study of Estimation of Forest Ecosystem Carbon Storage in Gyeryongsan National Park, Korea. Jang, Ji-hye, Joon-seok Yi, Ji-sun Jeong, Tae-young Song<sup>1</sup>, Kyengjae Lee<sup>1</sup>, Sang-uk Suh<sup>2</sup> and Jae-seok Lee\* (Biological Science, Konkuk University, <sup>1</sup>Forest Practice Research Center, <sup>2</sup>National Institute of Agricultural Science)**

**Abstract** Understanding and quantifying of carbon storage in ecosystem is very important factor for predicting change of global carbon cycle under the global climate change. We estimated total ecosystem carbon in Gyeryongsan National Park with naturally well preserved ecosystem in Korea. Vegetation of Gyeryongsan National Park was classified with mainly four communities with *Quercus mongolica* (1,743.5 ha, 38.0%), *Quercus variabilis* (1,174.0 ha, 25.6%), *Quercus serrata* (971.9 ha, 21.2%), *Pinus densiflora* (695.2 ha, 15.2%). Biomass and soil carbons were calculated from biomass allometric equations based on the DBH and carbon contents of soil and litter collected in quadrat in each community. The tree biomass carbon was in *Quercus variabilis* (130.1 tCha<sup>-1</sup>), *Pinus densiflora* (111.1 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus mongolica* (76.2 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus serrata* (39.0 tCha<sup>-1</sup>). Soil carbon storage was in *Quercus mongolica* (159.7 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus serrata* (121.0 tCha<sup>-1</sup>), *Pinus densiflora* (110.5 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus variabilis* (90.8 tCha<sup>-1</sup>). Ecosystem carbon storage was *Pinus densiflora* (239.9 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus mongolica* (235.9 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus variabilis* (226.0 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus serrata* (165.9 tCha<sup>-1</sup>), total amount was 867.7 tCha<sup>-1</sup>. The area of each vegetation carbon storage was *Quercus mongolica* (411,200 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus variabilis* (265,300 tCha<sup>-1</sup>), *Pinus densiflora* (166,800 tCha<sup>-1</sup>), *Quercus serrata* (161,200 tCha<sup>-1</sup>) and the total ecosystem carbon amount estimated 1,045,400 tCha<sup>-1</sup> at Gyeryongsan National Park. These results indicate that different in naturally well preserved ecosystem.

**Key words:** biomass carbon, carbon storage, soil organic matter, Gyeryongsan National Park

### 서 론

최근 기후변화에 의한 전 지구적 규모의 생태계 교란과 사회경제적인 악영향은 시간 경과에 따라 더욱 증대되고 있으며, 세계 각국과 민간 사회에서 기후변화를 완화시키기 위해 많은 노력을 하고 있다(IPCC, 2001). 이

와 같은 기후변화 현상에 대한 피해를 평가하고 대책을 마련하기 위해 설립된 기후변화 관련 정부 간 협의체(IPCC)에서 2007년에 발표한 4차 보고서(IPCC, 2007a)에 따르면, 지구 평균기온이 1.5~2.5°C 상승할 경우, 약 20~30%에 해당하는 동·식물종의 멸종 위험도가 증가할 것이며, 그로 인해 생물다양성, 생태계 구조 및 기능, 생물종의 생태적 상호작용과 생물종간 지리적 분포상에 대 변동 가능성을 보고하였다(IPCC, 2007).

이러한 기후변화의 주요 원인인 온난화 유발기체로서 이산화탄소는 기후변화에 대한 영향력이 가장 크다. 결

Manuscript received 2 December 2014, revised 11 December 2014, revision accepted 12 December 2014  
\* Corresponding author: Tel: +82-2-450-3411, Fax: +82-2-3437-3411, E-mail: jaeseok@konkuk.ac.kr

과적으로 기후변화에 대처하기 위해서는 이산화탄소 흡수원과 방출원 및 주요 생태계의 탄소 축적량 평가 등 탄소순환 및 저장과 관련된 요소의 명확한 파악이 중요하다.

육상생태계의 탄소 저장고는 크게 식생권과 토양권으로 구분할 수 있으며 (Kim and Kim, 1988; Lee, 2012), 육상생태계 탄소량 중 토양권 생태계 탄소량은 생육하고 있는 식물의 탄소량 즉 식생권 탄소량보다 많다 (Whittaker and Marks, 1975; Post and Kwon, 2000). 그러므로 토양권 탄소량과 전 지구적인 탄소순환의 균형을 맞추기 위해 토양권에 잠재되어 있는 탄소축적량을 파악하는 것이 중요하다 (Kweon *et al.*, 2005; Kwon and Lee, 2006). 또한 토양권에 축적된 탄소는 지표면을 덮고 있는 식생의 종류와 밀접하게 연관되어 있기 때문에 식생 변화는 대기와 토양권 사이의 탄소 순환에 중요한 요인으로 작용한다 (Lee, 2004).

산림생태계는 육상생태계에서 가장 큰 탄소 저장고인 이유로 탄소 저장량 변동 연구에서 주목을 받고 있으며 (McCarl and Schneider, 2001), 지구적 탄소순환에 중요한 조절요소로 관리 방안에 따라서는 기후변화의 완화에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다. 산림은 전 세계적으로 41억 ha의 면적을 차지하고 있으며, 지상부 탄소량의 80%를 저장하고 있다. 우리나라 산림은 현재 637만 ha로 전 국토면적의 약 64%를 차지하고 있으며, 약 14억 5천 t의 탄소를 저장하고 있다 (Weon, 2012). 이러한 산림의 6.6%가 국립공원으로 지정되어 있으며, 국립공원은 생태계 다양성이 뛰어난 지역을 보존하고 있으므로 산림의 군락, 구조, 기능 등의 생태학적 요소들이 자연식생 그대로 유지되도록 관리 (Lee *et al.*, 1994; Kim, 2012)하고 있기 때문에 경제적 목적으로 관리되고 있는 식재림과의 비교를 통해 산림의 탄소축적 능력을 증대할 수 있는 방안을 제시할 수 있는 것으로 판단된다.

현재까지 국립공원에 관한 연구는 식생의 분포 (Kim *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Gwon *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2013), 식생의 군집구조 분석 (Kim, 1971; Choi, 2001; Kim *et al.*, 2011) 등의 많은 연구가 진행되었으나 주로 산림의 현재 식생의 분포 상황과 군집구조, 천이 등에 관한 연구가 주를 이루며, 국립공원 내 식생과 토양의 탄소축적량에 관한 연구는 국립공원관리공단에서 실시한 연구 (Lee, 2011, 2012)로 대단히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 지리적으로 온대남부와 온대중부가 중첩되는 지역으로서 온대남부식물과 온대중부식물이 다수 혼생하고 있어 우리나라 중남부 산림생태계의 현황과 발달과정을 살펴볼 수 있는 중요한 지역으로 평가 (Choi

*et al.*, 2001)되고 있는 계룡산 국립공원을 대상으로 주요 생태계에 대한 탄소축적량과 식생의 상호관계를 해석하고, 자연성이 높은 식생의 탄소축적 잠재력 평가를 통해 한반도의 다양한 생태계에 대한 탄소축적량 특성의 이해와 관리 방안 제시에 이바지할 것을 목표로 한다.

## 조사 및 방법

### 1. 조사지 개황

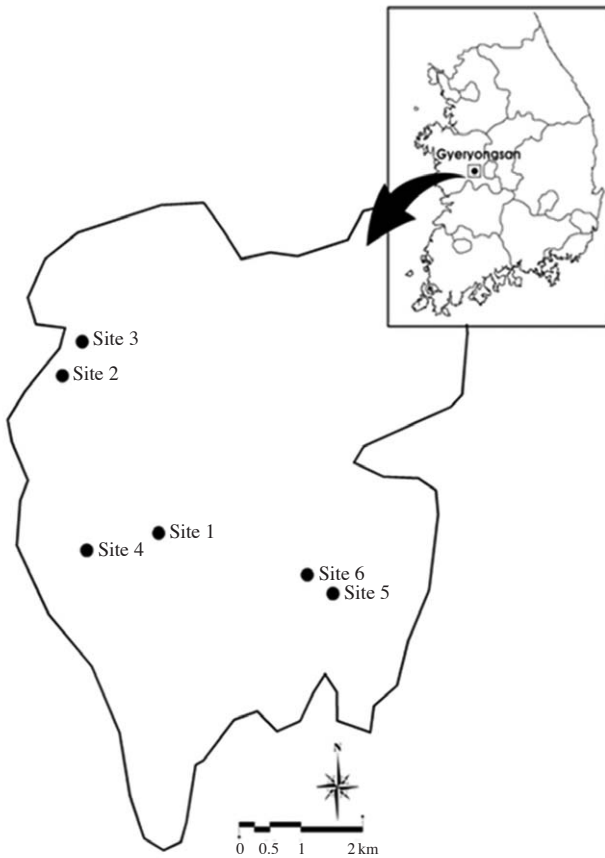
계룡산 국립공원의 위치는 경위도상 N 36° 18' 15" ~ 36° 23' 48", E 127° 10' 40" ~ 127° 17' 58"로서 지리산에 이어 두 번째 국립공원으로 지정 (1968. 12. 31), 관리되어 왔으며, 행정구역상으로는 충남 공주시에 주로 위치하면서 일부가 대전광역시와 논산시, 계룡시에 뻗어 있다 ([http://gyeryong.knps.or.kr/main/main\\_park\\_gyeryong.do](http://gyeryong.knps.or.kr/main/main_park_gyeryong.do)).

식물구계로는 한반도 중부아구 (이와 임, 1978)에 속하며, 생물기후구계도 중 중남부내륙형에 속한다 (Yim and Kira, 1975). 기후는 한반도 남부의 난온대성기후와 북부의 대륙성기후의 중간적 특색을 갖는다. 대전기상청 통계에 따르면, 지난 30년간 (1981년~2010년) 대전의 연평균기온은 13.0°C이며, 강수량은 1,458.7 mm으로 나타났다 (Korean Meteorological Administration, 2011).

### 2. 식생분포면적 산정 및 탄소축적량 환산

계룡산 국립공원의 현존식생분포는 1:25,000 도엽의 지형도에 환경부의 생태자연도 (<http://egis.me.go.kr/egis/home/main.asp>)와 산림청의 임상도 (<http://fgis.forest.go.kr/fgis/>)를 중첩하여 autocad상에서 작성하였다. 작성된 현존식생도를 바탕으로 해당 지역에서 점유 면적이 높은 순으로 우선순위를 정하였다. 우선 순위로 정해진 군락에 대하여 군락의 분포 중심지역을 추출하고 추출된 중심지역을 기준으로 수목 밀도, 수고, 종조성, 생육지의 입지조건 등을 고려하여 최종 정밀조사 방형구를 설치하였다. 또한 지형상 접근이 어려운 지역의 경우, 분포 중심지에서 가장 가까운 곳에 조사구를 설치하였다 (Fig. 1).

상대생장식이 없는 수목의 biomass탄소량을 산정을 위해 현존식생도에서 혼합림의 경우 해당 지역에 넓게 분포하는 단일 우점림으로 분류하여 총 면적을 산출하였다. 구분된 군락 중 서어나무-신갈나무 (*Carpinus laxiflora* - *Quercus mongolica*) 군락은 신갈나무군락으로, 상수리나무 (*Q. acutissima*) 군락은 졸참나무 (*Q. serrata*) 군



**Fig. 1.** Location of the study site in Gyeryongsan National Park. Site 1: *Quercus mongolica* community (36:20:11, 127:12:52), Site 2: *Pinus densiflora* community (36:22:19, 127:11:38), Site 3: *Q. variabilis* community (36:22:19, 127:11:38), Site 4: *Q. variabilis* - *Q. serrata* community (36:20:32, 127:15:54), Site 5: *Q. variabilis* community (36:20:08, 127:16:06), Site 6: *Q. serrata* community (36:20:32, 127:15:54).

락으로, 굴참나무-신갈나무 (*Q. variabilis* - *Q. mongolica*) 군락과 굴참나무-졸참나무 (*Q. variabilis* - *Q. serrata*) 군락은 굴참나무 (*Q. variabilis*) 군락으로 평가하였다. 주요 군락 별로 산정된 단위 면적당 탄소축적량에 각각의 면적을 곱해 계룡산 국립공원 전체면적에 대한 탄소축적량으로 환산하였다.

### 3. 임목 biomass 탄소축적량 산정

임목 biomass 탄소축적량을 산정하기 위해 2012년 4월부터 11월까지 매목조사를 실시하였으며, 매목조사는 조사구로 선정된 군락의 내부에 교목층을 구성하고 있는 수목의 수고에 해당하는 개략적인 높이를 조사한 후, 방형구의 한 변 길이로 정하여 교목의 수고에 따라 다양한 조사 방형구를 설치하였다. 조사구 내부에 위치하

는 직경 5 cm 이상 되는 수목에 대하여 DBH (diameter at breast height)를 측정하고 식물종명을 기록하였다.

수종 별 흉고직경에 의한 biomass 상대성장식  $Y=aD^b$  및 흉고직경과 수고에 의한 biomass 상대성장식  $Y=a(D^2H)^b$ 이 있지만, Korean Forest Research Institute (2010, 2011)에 의하면 흉고직경 (D)과 수고 ( $D^2H$ )의 biomass를 비교한 결과, 흉고직경만을 독립변수로 하는 biomass 상대성장식과 큰 차이가 별로 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 방형구내에서 수집한 임목의 흉고직경 (DBH)을 상대성장식에 적용하여 단위면적당 biomass를 산정하였으며, 수고는 부수적인 자료로서 활용하였다. 조사한 군락의 DBH급 분포는 소나무 (*Pinus densiflora*) 군락에서 16~34 cm로 평균 22.8 cm, 상수리나무 (*Q. serrata*) 군락에서는 하층에 매죽나무 (*Styrax japonica*)가 많이 생육하고 있는 이유로 4.8~20.1 cm로 평균 8.5 cm의 낮은 값으로 보였다. 상수리나무 (*Q. acutissima*) 군락에서는 17.2~58.6 cm로 평균 33.7 cm로 비교적 큰 개체가 분포하였으며, 신갈나무 (*Quercus mongolica*) 군락에서는 5.1~24.2 cm로 평균 13.9 cm의 값을 보였다.

### 4. 리터층 탄소축적량

임목 biomass 조사를 위한 방형구내 방형구 (30 cm × 30 cm)를 각 3개씩 소격자를 설치하고, 격자내의 리터를 수거하였다. 수거한 리터는 밀봉한 후 실험실로 옮겨 80°C의 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후, 건중량을 측정하였다. 리터층의 탄소량은 건중량에 유기물 탄소계수 0.458를 곱하여 구하였다 (Wang *et al.*, 2002).

### 5. 토양층 탄소축적량 조사

조사지의 토양층에 축적되어 있는 탄소축적량을 파악하기 위하여, 임상의 토양을 채취하여 토양밀도, 유기물 함량, 토양비율을 조사하여 토양탄소축적량을 추정하였다. 토양은 리터를 채취한 지점 (30 cm × 30 cm 방형구)의 지표면으로부터 30 cm 깊이까지 각 5 cm 깊이 단위로 토양샘플관 ( $\phi=5$  cm,  $h=5.1$  cm)을 이용하여 채취하였다.

유기물함량 (organic matter content)은 작열감량법 (LOI; loss on ignition method, Oliver *et al.*, 2001; Santisteban *et al.*, 2004)을 이용하여 산정하였다. 야외 조사구에서 채취한 토양을 실험실로 옮긴 후, 80°C 건조기에서 48시간 건조시킨 무게를 칭량하여 토양밀도 (soil bulk density)를 구하였다. 건조시킨 토양은 2 mm 체로 쳐 2

mm 이하의 토양만을 일정량 넣은 도가니를 550°C의 전기로에서 4시간 동안 작열시킨 후, 작열 전과 작열 후의 토양 무게 차이를 작열 전 토양 무게로 나눈 값을 백분율로 나타내어 얻었다. 2 mm 이상 되는 것은 물로 재차 깨끗하게 토양을 씻어 순수하게 자갈만 추출하여 건조기에 건조 후 무게를 측정, 석력 함량을 산정 한 후 그를 바탕으로 토양비를 산정하였다.

이러한 과정으로 수집된 자료를 바탕으로 하여 Wang *et al.* (2002)의 방법으로 토양 내 탄소량 (Sc)을 구하였다(식 1).

$$Sc = rHbka \quad (\text{식 1})$$

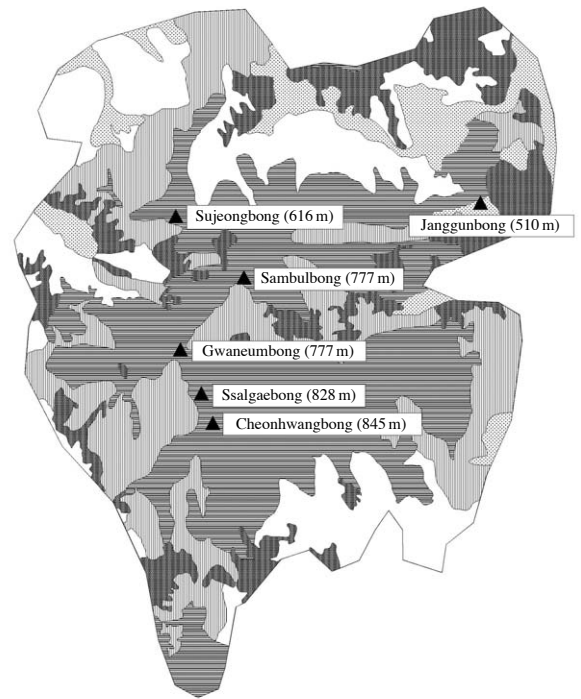
(r: 토양밀도, H: 분석한 토양두께 b: 유기물 함량, a: 토양의 탄소계수, k: 토양비)

## 결과 및 고찰

### 1. 계룡산의 식생 및 분포특성

신갈나무군락은 주로 해발 고도가 높은 지역에 위치하고 있으며, 해발 고도가 높은 곳은 비교적 밀도가 높은 순림형태를 가지지만 고도가 낮아질수록 졸참나무, 서어나무, 굴참나무 등과 혼생하는 비율이 높아져 밀도가 낮아지는 형태를 나타냈다 (Fig. 2). 오대산의 경우 고도 1,000~1,200 m가 군락의 최적지로 나타났으나 (Kim *et al.*, 2014) 이와는 다르게 계룡산은 고도 600 m 이상 되는 지역에 분포하는 것으로 조사되었다. 이러한 분포 형태에서 신갈나무가 우점하는 군락을 모두 합하면 1,743.5 ha로 계룡산에서 가장 넓은 면적을 점유하고 있는 것으로 파악되었다. 이와 더불어 졸참나무, 서어나무, 굴참나무와 혼생하는 지역까지를 포함시킨다면 계룡산에서 약 38.0% 정도의 넓은 분포역을 가진다 (Fig. 2). 군락의 분포와 발달 특성은 기후적 요인 외에도 사면, 방위, 경사도, 해발고도 등의 지형적 요인과 토양적 요인 등에 의한 환경변화에 따라 다르게 나타나게 되는데, 신갈나무군락이 넓게 분포하는 것은 기후와 지형적 요인 등과 관련한 환경적응 범위가 그만큼 넓다는 것을 의미한다 (Kim *et al.*, 2014).

신갈나무 다음으로 분포역이 넓은 군락은 1,174.0 ha로 25.6%의 분포율을 가진 굴참나무류군락으로 계산되었다. 오대산, 설악산, 속리산의 경우 굴참나무군락은 고도 400~600 m의 지역에서 주로 분포하고, 이 지역의 굴참나무군락은 2차림으로 보인다. 계룡산의 경우, 굴참나무군락은 저지의 소나무군락과 고지의 신갈나무군락



Index	
	<i>Pinus densiflora</i> (695.2 ha/14.0%)
	<i>Quercus mongolica</i> (1,743.5 ha/35.2%)
	<i>Quercus serrata</i> (971.9 ha/19.6%)
	<i>Quercus variabilis</i> (1,174.0 ha/23.7%)
	et cetra (Stream, Pond, Farm land / 372.5 ha/7.5%)

Fig. 2. The distribution of vegetative community in Gyeryongsan National Park, Korea.

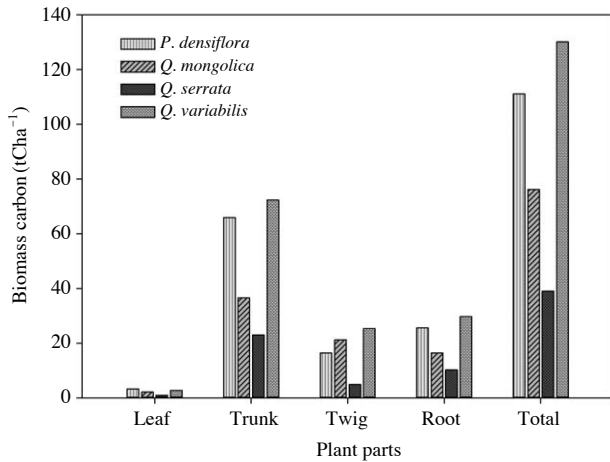
분포지의 중간 지역의 해발고도 200~600 m의 지역에 분포하고 있다 (Fig. 2). 계룡산에 분포하는 굴참나무군락도 주로 전석지와 같이 큰 파쇄석이 노출되어 있어 토양층의 형성이 어려운 척박한 지형에 성립된 것으로 보아 설악산과 유사하게 신갈나무군락이 파괴된 후, 척박한 지역에 2차림으로 발달한 것으로 판단된다.

### 2. 임목 biomass의 탄소축적량

임목 biomass 탄소량은 계룡산 국립공원에 주를 이루고 있는 4개의 우점군락 (소나무군락, 신갈나무군락, 졸참나무군락, 굴참나무군락)을 조사하였다. 각 군락에서 잎, 줄기, 가지, 뿌리의 부위별로 biomass 탄소축적량을 산정한 결과, Table 1과 같이 앞에서 소나무군락이 3.3 tCha<sup>-1</sup>으로 가장 많은 양이 저장되어 있었으며, 그 다음으로 굴참나무군락 (2.8 tCha<sup>-1</sup>), 신갈나무군락 (2.1 tCha<sup>-1</sup>), 졸참나무군락 (0.9 tCha<sup>-1</sup>) 순으로 나타났다. 줄기에서는 굴참나무군락이 72.4 tCha<sup>-1</sup>로 가장 많은 탄소를 저장하

**Table 1.** Biomass carbon ( $tCh^{-1}$ ) of tree components.

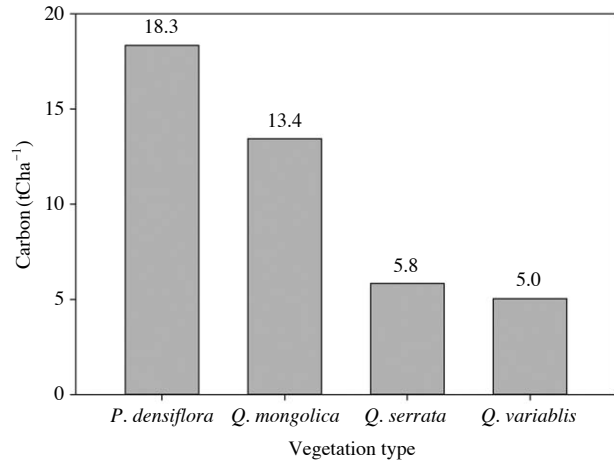
Vegetation type	Plant part				Total
	Leaf	Trunk	Twig	Root	
<i>Pinus densiflora</i>	3.3	65.9	16.4	25.5	111.1
<i>Quercus mongolica</i>	2.1	36.5	21.2	16.5	76.2
<i>Quercus serrata</i>	0.9	23.0	4.9	10.2	39.0
<i>Quercus variabilis</i>	2.8	72.4	25.3	29.7	130.1



**Fig. 3.** Biomass carbon of major vegetations at Gyeryongsan National Park.

고 있는 것으로 산정되었으며 (Table 1), 그 다음으로 소나무군락 ( $65.9 tCh^{-1}$ ), 신갈나무군락 ( $36.5 tCh^{-1}$ ), 졸참나무군락 ( $23.0 tCh^{-1}$ ) 순으로 산정되었다. 가지에서는 굴참나무군락이  $25.3 tCh^{-1}$ 로 가장 많은 탄소를 저장하고 있는 것으로 산정되었으며, 그 다음으로 신갈나무군락 ( $21.2 tCh^{-1}$ ), 소나무군락 ( $16.4 tCh^{-1}$ ), 졸참나무군락 ( $4.9 tCh^{-1}$ ) 순으로 산정되었다. 뿌리에서는 굴참나무군락이  $29.7 tCh^{-1}$ 로 가장 많은 탄소를 저장하고 있었으며, 그 다음으로 소나무군락 ( $25.5 tCh^{-1}$ ), 신갈나무군락 ( $16.5 tCh^{-1}$ ), 졸참나무군락 ( $10.2 tCh^{-1}$ ) 순으로 산정되었다 (Table 1).

잎, 줄기, 가지, 뿌리의 총 biomass 탄소축적량은 굴참나무군락에서  $130.1 tCh^{-1}$ 로 가장 많은 탄소를 축적하는 것으로 나타났고, 그 다음으로 소나무군락  $111.1 tCh^{-1}$ , 신갈나무군락  $76.2 tCh^{-1}$ , 졸참나무군락  $39.0 tCh^{-1}$  순으로 산정되었다 (Fig. 3). 신갈나무군락의 바이오매스를 조사한 연구에 의하면, 태화산의  $139.6 tCh^{-1}$ 과 굴참나무군락이 유사한 값을 나타냈으며, 태화산의 조사지역의 고도와 계룡산 국립공원에 분포하는 굴참나무군락의 분포 고도가 유사한 것으로 보아 식생이 분포하는 환경에 따라 임목 바이오매스가 탄소량도 다르게 나타나는 것



**Fig. 4.** Accumulated litter carbon of major vegetations at Gyeryongsan National Park.

으로 판단된다.

### 3. 리터층 탄소축적량

리터층에서는 소나무군락이  $18.3 tCh^{-1}$ 으로 가장 많은 탄소축적량을 나타냈고, 그 다음으로 신갈나무군락  $13.4 tCh^{-1}$ , 졸참나무군락  $5.8 tCh^{-1}$ , 굴참나무군락  $5.0 tCh^{-1}$ 의 순으로 나타났다 (Fig. 4). 소나무순림, 참나무순림, 혼효림을 조사한 황성지역의 연구 (Lee *et al.*, 2009)에서도 소나무순림이 가장 많은 탄소축적량을 보였다. 리터층의 건중량이 임분별로 차이를 보이는 것은 리터층을 구성하는 유기물의 질적 차이에 따라 미생물 반응이 다르게 나타남으로써, 분해되고 남아있는 유기물의 양이 다르기 때문인 것으로 추정된다 (Lee *et al.*, 2009). 특히 낙엽의 분해는 수종 및 낙엽의 질에 따라 분해율이 달라지며, 이 중 C/N 비가 분해속도에 가장 큰 영향을 미치고 있다 (Lee *et al.*, 2006; Weon *et al.*, 2012). 이는 리기다소나무와 낙엽송의 낙엽 분해에 관한 연구에 의하면, 상록침엽수인 리기다소나무 임분의 낙엽층에서 질소와 인의 농도가 낙엽송의 임분보다 높게 나타났으며, 리기다소나무 임분이 낙엽송 임분에 비해 낙엽층의 축적량이 많은 것으로 나타났다 (Lee and Son, 2006). 따라서 계룡산 지역의 소나무군락에서도 C/N 비율이 참나무류에 비해 낮아 낙엽의 분해속도가 상대적으로 느려져서 리터층에서 가장 많은 탄소축적량을 보인 것으로 판단된다.

### 4. 토양층 탄소축적량

층위별 탄소축적량을 분석해 본 결과, 0~5 cm에서는

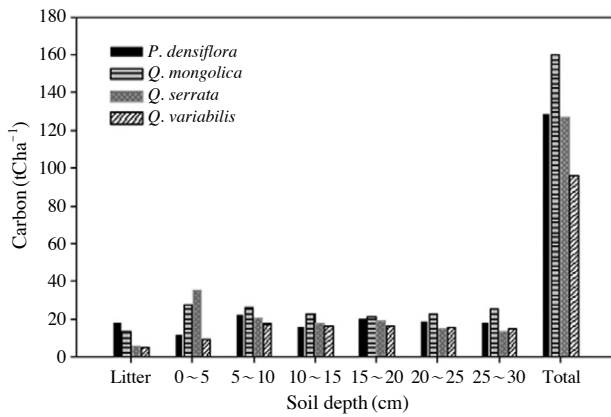


Fig. 5. Soil carbon accumulated in major vegetations at Gyeryongsan National Park.

졸참나무군락이 35.3 tCha<sup>-1</sup>로 가장 많은 탄소를 저장하고 있었고, 5~10 cm, 10~15 cm, 15~20 cm, 20~25 cm, 25~30 cm의 층위에서는 신갈나무군락이 각각 26.1 tCha<sup>-1</sup>, 22.8 tCha<sup>-1</sup>, 21.3 tCha<sup>-1</sup>, 22.8 tCha<sup>-1</sup>, 25.7 tCha<sup>-1</sup>로 가장 많은 탄소를 저장하고 있는 것으로 산정되었다 (Fig. 5). 2012년 덕유산국립공원 자연자원조사 보고서에 따르면 0~30 cm 토양의 전 깊이에서 신갈나무군락이 가장 많은 탄소를 저장하고 있는 것으로 나타난 것이 본 연구와 유사하였다 (Lee, 2012).

0~30 cm 토양의 전 깊이에 대한 토양탄소축적량은 신갈나무군락이 146.2 tCha<sup>-1</sup>로 가장 많은 탄소를 축적하고 있고, 그 다음으로 졸참나무군락 121.0 tCha<sup>-1</sup>, 소나무군락 110.5 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락 90.8 tCha<sup>-1</sup>의 순으로 산정되었다.

신갈나무군락이 다른 군락에 비해 비교적 높은 고도에 분포하는 이유로 낮은 온도조건에 처해 있어 미생물 활동에 의한 분해가 늦게 진행되었기 때문에 타 군락에 비해 비교적 많은 양의 탄소축적량을 나타내고 있는 것으로 판단된다 (Son et al., 2004; Son et al., 2007a, b; Weon et al., 2012). 또한 계방산의 조사 보고에 따르면, 신갈나무가 다른 수종에 비해 양분 함량같은 기질의 차가 원인인 것으로 나타났다 (Lee and Son, 2006).

5. 계룡산 국립공원 지역 및 군락별 탄소축적량

계룡산 국립공원에서 조사한 단위 면적당 식생과 토양 탄소축적량의 총 양은 소나무군락이 239.9 tCha<sup>-1</sup>으로 가장 많은 양이 산정되었고, 신갈나무군락이 235.9 tCha<sup>-1</sup>으로 유사한 양을 나타냈으며, 굴참나무군락은 226.0 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락은 165.9 tCha<sup>-1</sup>로 조사되었다

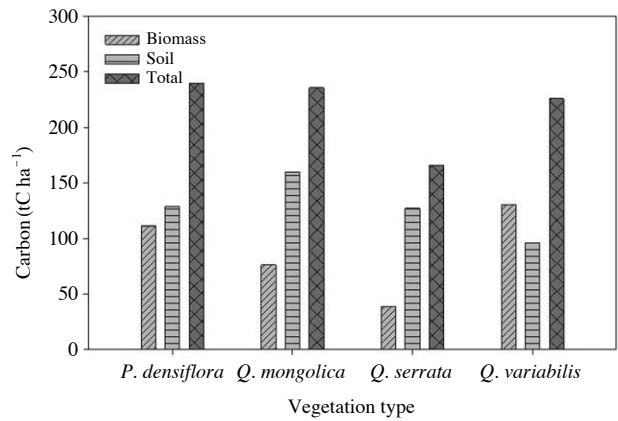


Fig. 6. Biomass and soil carbon stargazed in major vegetations at Gyeryongsan National Park.

Table 2. Total amount of carbon storage (10,000 tCha<sup>-1</sup>) at Gyeryongsan National Park.

Vegetation type	Division			
	Area (ha)	Biomass	Soil	Total
<i>Quercus mongolica</i>	1,743.5	13.3	27.8	41.1
<i>Pinus densiflora</i>	695.2	7.7	9.0	16.7
<i>Quercus variabilis</i>	1,174.0	15.3	11.3	26.5
<i>Quercus serrata</i>	971.9	3.8	12.3	16.1

(Fig. 6). 계룡산 국립공원의 탄소축적량은 총 867.7 tCha<sup>-1</sup>로 나타났으며, 평균 217 tCha<sup>-1</sup> (166~240 tCha<sup>-1</sup>)였다. 생태계 탄소축적량은 지리산국립공원 178 tCha<sup>-1</sup>보다 많은 양이 나타났고, 강원지역의 213 tCha<sup>-1</sup>보다도 많은 탄소량이 산정되었는데 (Lee, 2012) 토양권 탄소축적량이 다른 지역에 비해 상당히 많은 양이 저장되어 있는 것으로 산정되어 생태계 총 탄소축적량의 값에 영향을 준 것으로 판단된다. 따라서 실제 입지조건에 암석 노출정도를 반영하고, 임상에 존재하는 큰 암석의 틈으로 분해 중의 작은 유기물들이 깊이 침투되어 있는 경향이 관찰될 바, 위와 같은 상황을 바탕으로 정확한 토양탄소축적량을 얻기 위해서는 추가적인 조사가 필요할 것이다.

조사한 4가지 주요 군락별 총 점유면적에 대한 총 탄소축적량은 신갈나무류군락에서 411,200 tCha<sup>-1</sup>, 소나무군락에서 166,800 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락에서 265,300 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락에서 161,200 tCha<sup>-1</sup>로 4군락 합계 1,004,600 tCha<sup>-1</sup>으로 산정되었고, 계룡산 국립공원에 저장된 생태계탄소량은 총 1,045,400 tCha<sup>-1</sup>로 산정되었다 (Table 2). 신갈나무류군락이 타 군락에 비해 상당히 높은 값을 나타내고 있는 것은 신갈나무류군락이 넓



은 분포면적과 토양탄소축적량이 타 군락에 비해 매우 높기 때문이다.

계룡산 국립공원의 생태계 탄소축적량에 대해서 조사한 결과, 토양권 탄소축적량이 식생권의 탄소축적량에 비해 많은 양을 저장하고 있는 것으로 나타났으며, 탄소축적량은 분포하고 있는 식생군락에 따라 다른 값을 보였다. 일반적으로 고도가 높아지면 온도가 감소하고, 식생의 탄소량은 감소하나, 토양탄소량은 증가 하게 되는데 (Zhu *et al.*, 2010), 이는 식생의 분포가 지형적 요인과 토양적 요인 등에 의한 환경변화에 따라 다르게 나타나기 때문이며 산림생태계에서 탄소축적량은 기후, 산림형태, 임령, 토양조건에 강한 영향을 받기 때문에 (Pre-gitzer and Euskirchen, 2004). 따라서 기후변화에 따라 식생의 분포 유형 및 종류가 변화할 경우, 생태계 탄소축적량도 변화될 것으로 예상되며, 이러한 연구를 통해 기후변화에 대한 한반도 생태계의 탄소축적량 변화를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

지역적 규모의 탄소 축적량 자료는 지역적 규모의 탄소순환 형태의 이해를 위한 필수적 요소이며 지구적 규모의 탄소순환 형태 변화를 예측하는 중요한 기초 자료가 된다. 본 연구는 국내 다양한 생태계 중 자연성이 높은 국립공원지역 산림 생태계의 탄소축적량을 산정하여 자연군락이 축적 가능한 탄소축적 잠재량을 평가하기 위해 실시되었다. 연구대상지인 계룡산 국립공원은 신갈나무류군락 1,743.5 ha (38.0%), 굴참나무류군락 1,174.0 ha (25.6%), 졸참나무류군락 971.90 ha (21.2%), 소나무류군락 695.19 ha (15.2%) 등의 순으로 분포하는 것으로 분석되었으며, 이들 군락의 분포 중심으로 판단되는 지점에 정밀 조사구를 설치하여 biomass 탄소축적량 측정을 위해 매목조사를 실시하였고, 리터층 및 토양층의 탄소축적량은 조사구 내 소방형구 (30 cm × 30 cm)를 설치, 리터와 토양 (0~30 cm)을 채취하여 측정된 리터 건중량 및 토양 유기물함량을 기초로 단위 탄소값을 구한 후 해당 군락의 총 면적으로 환산하여 산정하였다. 임목 biomass 탄소축적량은 굴참나무군락이 130.1 tCha<sup>-1</sup>, 소나무군락 111.1 tCha<sup>-1</sup>, 신갈나무군락 76.2 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락 39.0 tCha<sup>-1</sup> 순으로 산정되었다. 리터층 탄소축적량은 소나무군락이 18.3 tCha<sup>-1</sup>, 신갈나무군락 13.4 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락 5.8 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락 5.0 tCha<sup>-1</sup>의 순으로 나타났다.

토양탄소축적량은 신갈나무군락이 159.7 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락 121.0 tCha<sup>-1</sup>, 소나무군락 110.5 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락 90.8 tCha<sup>-1</sup>의 순으로 산정되었다.

생태계탄소축적량은 소나무군락이 239.9 tCha<sup>-1</sup>, 신갈나무군락이 235.9 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락은 226.0 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락은 165.9 tCha<sup>-1</sup>를 나타냈고 총 867.7 tCha<sup>-1</sup>로 나타났다. 각 군락의 면적 별 탄소축적량은 신갈나무가 우점하는 신갈나무류군락에서 411,200 tCha<sup>-1</sup>, 굴참나무군락에서 265,300 tCha<sup>-1</sup>, 소나무군락에서 166,800 tCha<sup>-1</sup>, 졸참나무군락에서 161,200 tCha<sup>-1</sup>로 계룡산 국립공원에서 총 1,045,400 tCha<sup>-1</sup>로 산정되었다.

계룡산 국립공원의 생태계탄소축적량을 조사한 결과, 탄소축적량은 분포하고 있는 식생군락에 따라 다른 값을 보였으며, 이는 환경요인의 변화에 따른 것이다. 따라서 기후변화에 따라 식생의 분포 유형 및 종류가 변하게 되면, 생태계 탄소축적량도 변화할 것으로 예상되며, 이러한 연구를 통해 기후변화에 대한 한반도의 변화를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Choi, S.H. and H.S. Jo. 2001. Analysis on the forest community structure of the area of Donghaksa-Nammaetap. Kye-ryongsan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* **14**: 252-267.
- Gwon, J.H., M.K. Sin, H.J. Kwon and H.K. Song. 2013. A Study on the Forest Vegetation of Jirisan National Park. *Journal of Korean Environmental Research Technology* **16**: 93-118.
- <http://egis.me.go.kr/egis/home/main.asp>.
- <http://fgis.forest.go.kr/fgis/> (forest space information service).
- [http://gyeryong.knps.or.kr/main/main\\_park\\_gyeryong.do](http://gyeryong.knps.or.kr/main/main_park_gyeryong.do) (Gyeryongsan National Park).
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. 188.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007 (Synthesis Report).
- IPCC. 2007a. Climate Change 2007: Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *In: The physical science basis* (Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kim, C.H., J.G. Oh, E.O. Kang and J.G. Lim. 2014. Community Distribution on Mountain Forest Vegetation of the Gyeongbansan Area in the Odaesan National Park, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**: 135-145.

- Kim, C.H., J.G. Oh and N.S. Lee. 2013. A Study on the Forest Vegetation of Deogyusan National Park. *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**: 33-40.
- Kim, G. and C Kim. 1988. Research trends on forest biomass production in Korea. *Forest Bioenergy* **8**: 94-107.
- Kim, H.S., S.M. Lee and H.K. Song. 2010. Vegetation structure of the Hyangjeokbong in the Deogyusan National Park. *Journal of Korean Environmental Research Technology* **24**: 708-722.
- Kim, H.S., S.M. Lee and H.G. Song. 2011. Actual vegetation distribution status and ecological succession in the Deogyusan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**: 37-43.
- Kim, J.H. 1971. A study of forest productivity and growth structure. *Pinus rigida* plantation. *Journal of Plant Biology* **14**: 19-23.
- Kim, Y.O. 2012. Study on national park visitors' consciousness on nature conservation and their attitude toward ecotourism (-Focusing on Buk Han San National Park). *Tourism Research* **26**: 77-97.
- Korean Forest Research Institute. 2010. Survey manual for biomass and soil carbon.
- Korean Forest Research Institute. 2011. Study on the basis of forest carbon accounting in Korea. 267.
- Korean Forest Service. Statistical yearbook of forestry. 2010-2013.
- Korean Meteorological Administration. 2011. *Climatological Normals of Korea* (11-1360000-000077-14): 1981-2010.
- Kwon, G.C. and D.G. Lee. 2006. Above- and below-ground biomass and energy content of *Quercus mongolica*. *Forest Bioenergy* **25**: 31-38.
- Kwon, S.D., J.H. Seo, Y.M. Son and Y.K. Park. 2005. Biomass carbon emissions according to conversion of forest land in Korea. *Forest Bioenergy* **24**: 10-15.
- Lee, I.K., J.H. Lim, C.S. Kim and Y.K. Kim. 2006. Nutrient dynamics in decomposing leaf litter and litter production at the Long-Term Ecological Research Site in Mt. Gyeong. *Journal of Ecological Field Biology* **26**: 585-591.
- Lee, I.K., K.J. Kim, J.M. Cho, D.W. Lee, D.S. Cho and J.S. Yoo. 1994. Biodiversity Korea to 2000. Minumsa. 405.
- Lee, I.K. and Y.H. Son. 2006. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on nutrient dynamics and litterfall production of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi*. *Korean Journal of Environment and Ecology* **29**: 205-212.
- Lee, J.S. 2004. A study on change of an accumulated organic matter contents according to successional stage on temperate grassland. *Korean Journal of Environmental Biology* **22**: 381-386.
- Lee, N.Y. 2011. Estimation of Carbon Storage in Three Cool-Temperate Broad-Leaved Deciduous Forests at Bukhansan National Park, Korea. *Journal of National Park Research* **2**: 53-57.
- Lee, N.Y. 2012. Estimation of carbon storage in three cool-temperate broad-leaved deciduous forests at Jirisan National Park, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **30**: 121-127.
- Lee, S.G., Y.H. Son, N.J. Noh, S.J. Heo, T.K. Yoon, A.R. Lee, S.A. Razak and W.K. Lee. 2009. Carbon storage of natural pine and oak pure and mixed forests in Hoengseong, Kangwon. *Journal of Korean Forest Society* **98**: 722-780.
- McCarl, B.A. and U.A. Schneider. 2001. Greenhouse gas mitigation in U.S agriculture and forest. *Science* **294**: 2481-2482.
- Oliver, H., A.F. Lotter and G. Lemcke. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* **25**: 101-110.
- Park, G.S. and J.G. Lim. 2004. Annual carbon storage by fine root production in *Quercus variabilis* stands. *Korean Journal of Environment and Ecology* **17**: 360-365.
- Post, W.M. and K.C. Kwon. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change : Processes and Potential. *Global Change Biology* **6**: 317-328.
- Pregitzer, K.S. and E.S. Euskirchen. 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biomass patterns related to forest age. *Global Change Biology* **10**: 2052-2077.
- Santisteban, J.I., R. Meiavilla, E. Lopez-Pamo, C.J. Dabrio, M. Zapata, M. Gracia, AC. Castano and PE Martinez-Alfaro. Ruiz. 2004. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology* **32**: 287-299.
- Son, Y., I.H. Park, M.J. Yi, H.O. Jin, D.Y. Kim, R.H. Kim and J.O. Hwang. 2004. Biomass, production and nutrient distribution of a natural oak forest in central Korea. *Ecological Research* **19**: 21-28.
- Son, Y.M., J.C. Kim, G.H. Lee and R.H. Kim. 2007a. Forest Biomass Assessment in Korea. *Korea Forest Research institute Research report* **07-22**: 11-106.
- Son, Y.M., G.H. Lee and R.H. Kim. 2007b. Estimation of Forest biomass in Korea. *Journal of Korean Forest Society* **96**: 477-482.
- Wang, G., J. Qian, G. Cheng and Y. Lai. 2002. Soil organic carbon pool of grassland on the Qinghai-Tibetan plateau and its global implication. *Science Total Environment* **291**: 207-217.
- Weon, H.G. 2012. Forest management for increasing carbon absorption. *Forest magazine (National forestry cooperative federation)* **2**: 58-62.
- Weon, H.Y., G.H. Oh, J.H. Pyo and H.T. Mun. 2012. Decay rate and nutrient dynamics during litter decomposition of *Quercus acutissima* and *Quercus mysinaefolia*. *Korean Journal of Environment and Ecology* **26**: 74-81.
- Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. p. 55-118. In: Primary Productivity of the Biosphere (Lieth, H. and R.H. Whittaker, eds.). Springer-Verlag, New York.



Yim, Y.J. and T. Kira. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula I. Distribution of some indices of thermal climate. *Japan Journal of Ecology* **25**: 77-88.

Zhu, B., X. Wang and J. Fang. 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt. Changbai, North-east China. *Journal of Plant Research* **123**: 439-452.