

# 한라산 아고산대 구상나무림에서 연간 물질생산과 유기탄소량 변화<sup>1a</sup>

장래하<sup>2</sup> · 조규태<sup>2</sup> · 유영한<sup>2\*</sup>

## Annual biomass production and amount of organic carbon in *Abies koreana* forest of subalpine zone at Mt. Halla<sup>1a</sup>

Rae-Ha Jang<sup>2</sup>, Kyu-Tae Cho<sup>2</sup>, Young-Han You<sup>2\*</sup>

### 요약

국가장기생태사업(LTER)의 일환으로 한라산 아고산대 구상나무림의 물질생산과 탄소분포의 특성을 밝히고자 2009년부터 2013년까지 현존량, 유기탄소분포, 낙엽생산, 임상낙엽량과 토양 유기탄소 축적량을 조사하였다. 식물현존량은 상대성장법에 의해 보고된 물질생산 식을 이용하여 측정하고 이를 이산화탄소의 고정량으로 환산하였다. 2009, 2010, 2011, 2012 와 2013년의 현존량은 각각 98.88, 106.42, 107.67, 108.31 와 91.48 ton ha<sup>-1</sup> 였다. 이 기간 동안의 유기탄소는 지상부 생물량에 35.95, 38.69, 38.96, 39.46, 33.2 ton C ha<sup>-1</sup>, 지하부 생물량에 8.54, 9.2, 9.49, 9.28, 7.97 ton C ha<sup>-1</sup> 이 각각 분포하였다. 5년 동안 낙엽 생산을 통해 1.09, 1.80, 1.32, 2.46 와 1.20 ton C ha<sup>-1</sup> 의 유기탄소가 생태계로 유입되었다. 2010, 2011, 2012와 2013년의 임상낙엽층의 유기탄소량은 2.74, 2.43, 2.00 와 1.16 ton C ha<sup>-1</sup>였고, 토양 20cm깊이까지의 유기탄소 축적량은 55.77, 54.90, 50.69, 44.42 와 41.87 ton C ha<sup>-1</sup>20cm<sup>-1</sup>였다. 이와 같이 현존량과 유기탄소량이 2009~2012년까지 매년 증가하였지만 태풍이 있었던 2013년에는 감소하였다. 이러한 현상은 자연적 교란이 한국의 아고산대 생태계에 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다.

주요어: 탄소흡수, 토양유기탄소, LTER, 상대성장식, 한국특산종

### ABSTRACT

Annual biomass production and amount of organic carbon in *Abies koreana* forest at Mt. Halla were conducted as a part of Korea National Long-Term Ecological Research (KNLTER). We measured standing biomass change of litter, soil production and organic carbon amounts of the forest floor and soil layer of *A. koreana* forest in Mt. Halla from 2009 to 2013 in permanent plots. Standing biomass, which was determined by allometric method, was converted into CO<sub>2</sub>. The standing biomass in *A. koreana* forest was 98.88, 106.42, 107.67, 108.31, 91.48 ton ha<sup>-1</sup> in 2009, 2010, 2011, 2012 and 2013 year, respectively. The amount of annual carbon allocated to above ground was 35.95, 38.69, 38.96, 39.46, 33.2 ton C ha<sup>-1</sup> and below ground biomass was 8.54, 9.2, 9.49, 9.28, 7.97 ton C ha<sup>-1</sup> in 2009, 2010, 2011, 2012 and 2013 year, respectively. Amount of organic carbon returned to the forest via litterfall was 1.09, 1.80, 1.32, 2.46 and 1.20 ton C ha<sup>-1</sup> in 2009, 2010, 2011, 2012 and 2013. Amount of organic carbon in annual litter layer on forest floor was 2.74, 2.43, 2.00 and 1.16 ton C ha<sup>-1</sup> in 2010, 2011, 2012 and 2013 year, respectively. Amount of organic carbon within 20cm soil

1 접수 2014년 11월 9일, 수정(1차: 2014년 12월 1일), 게재확정 2014년 12월 2일

Received 9 November 2014; Revised (1st: 1 December 2014); Accepted 2 December 2014

2 공주대학교 생물학과 Dept. of Biology, Kongju National Univ., Gongju(314-701), Korea (youeco21@kongju.ac.kr)

a 이 논문은 환경부의 국가장기생태연구사업의 지원으로 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: 041) 850-8508, Fax: 041) 850-0957, E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

depth was 55.77, 54.9, 50.69, 44.42 and 41.87 ton C ha<sup>-1</sup>20cm<sup>-1</sup> in 2009, 2010, 2011, 2012 and 2013 year, respectively. Then standing biomass and organic carbon distribution increased steadily until 2012. But there declined in 2013 because of the typhoon Bolaven. Thus, standing biomass and organic carbon distribution of this subalpine forest were largely affected by natural disturbance factor.

**KEY WORDS: CARBON ABSORPTION, SOIL ORGANIC CARBON, LTER, ALLOMETRY, KOREAN ENDEMIC SPECIES**

## 서론

최근 지구온난화의 주 원인인 이산화탄소증가는 인간의 생활과 생물의 생태계에 큰 영향을 주고 있으며(Jang *et al.*, 1998), 실제 CO<sub>2</sub>농도의 증가로 인해 기상이변, 사막화의 진전, 극빙의 해빙, 해수면 상승등과 같은 생태계 파괴가 일어나고 있다는 많은 연구가 있다(Post *et al.*, 1982; Johnson *et al.*, 1986; Tans *et al.*, 1990). 실제 우리나라에서도 지난 97년간(1912~2009) 주요 6개 도시의 평균기온이 약 1.7°C가 상승하였고, 이는 전 지구 평균기온상승온도(0.74°C)의 2배 이상이다(Korea Meteorological Administration, 2009; IPCC, 2007). 이에 따라 대기 중 CO<sub>2</sub>농도의 증가에 많은 관심을 두고 전 세계적으로 온실가스를 감축하기 위하여 기후변화협약과 다양한 방법을 논의하고 있으며, 2012년 유엔기후변화협약 (UNFCCC)에서 2013~2020년까지 선진국의 온실가스 의무 감축을 규정하기 위한 교토의정서 개정안을 채택하여(Park, 2012) 대기 중 CO<sub>2</sub>농도 감소를 위해 노력하고 있다.

대기 중으로 방출된 이산화탄소는 해양생태계와 육상생태계에서 흡수하는데, 육상생태계의 산림생태계에서 가장 많은 탄소를 저장한다(Winjum *et al.*, 1992). 이 산림생태계는 육상생태계 내 지상부 탄소축적량의 약 90%와 지하부 탄소축적량의 40%를 차지하고 있으며, 이를 지상부와 지하부 생물량, 고사목, 낙엽층과 토양 유기물의 형태로 저장하고, 낙엽은 산림생태계에서 임상에 축적된 유기물의 대부분을 차지하고 있다(Ovington and Heitkamp, 1960; Dixon *et al.*, 1994; Hu and Wang, 2008). 이에 산림생태계는 CO<sub>2</sub>를 저감시키는 탄소 저장고로서 주목을 받고 있으며, 산림생태계의 탄소저장 능력을 파악하고 증가시켜 지구 온난화를 방지하기 위해 전 세계적으로 연구가 진행 중에 있다(Law *et al.*, 2001; Sohngen and Mendelsohn, 2003; Richards and Stokers, 2004; McKenny *et al.*, 2004).

이러한 산림생태계의 탄소 고정량을 추정하기 위해서 산림의 물질생산은 중요한 역할을 하며, 환경과 식생의 상호작용을 통하여 저장된다(Park *et al.*, 2005). 이에 산림의 생물량

을 추정하는 것은 산림의 탄소 고정량을 파악하기 위하여 매우 중요하다.

이처럼 산림생태계에서 이산화탄소를 저감시키고 탄소를 저장하는 능력은 매우 중요하지만, 국내 CO<sub>2</sub>에 관한 연구는 대부분 CO<sub>2</sub>의 발생에 초점을 두고 있고, 산림의 탄소량에 관한 연구는 많지 않다. 또한 산림생태계의 탄소 저장능력을 파악하기 위해 Lee *et al.*(2013), Jeong *et al.*(2013)이 소나무림 연구와 Han(2001)이 잣나무림 연구 등을 하였지만 1년~3년 이내의 연구이고 장기연구는 찾아볼 수가 없다.

이에 본 연구에서는 해발 1,000m 이상의 아고산대에서 분포하며 유일하게 한라산에서만 숲을 형성하고 있는 우리나라 특산식물 구상나무림(Lee, 1970; Kim and Choo, 2000; Song, 2011)을 대상으로 지상부와 지하부 생물량, 낙엽층, 토양의 유기탄소 저장량을 파악하고, 산림을 통한 대기 중 CO<sub>2</sub>흡수를 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행되었다.

## 연구방법

### 1. 조사지 개황

본 연구의 조사지소인 한라산은 한반도 최남단인 제주도의 중심에 위치하며, 총면적은 153.332km<sup>2</sup>이고, 해발 1,950m로 남한에서 가장 높다. 총강수량이 4,560mm에 달해 국내 최다우지이다(Korea Meteorological Administration, 2013). 해발 600m 이상에서는 온대 그리고 1,100m 이상에서는 아고산대의 수직적 분포에 따라 다양한 식물상을 나타내고 있다.

한라산에는 약 803.6ha의 구상나무림이 분포하고 있고, 영실오름에 140ha 넓이의 구상나무 순군락이 분포하고 있다(Kim and Choo, 2000; Song, 2011). 영실지역의 온도는 8월에 약 16.7°C로 가장 높고 12월에 약 -2.5°C로 가장 낮으며 상대습도는 8월에 약 89.5%로 가장 높았고, 3월과 4월에 0.5%로 가장 낮았다(Song, 2011).

본 조사지소인 구상나무군락은 영실오름 해발고도 약

1,660m에 위치하고 있다(N 33° 21' 31", E 126° 30' 27") (Figure 1). 구상나무 순림으로 10 x 10m의 영구방형구 안에 치수부터 성수목까지 37 개체(3,700 그루 ha<sup>-1</sup>)가 다양하게 분포하고 있다. 관목층은 주목(*Taxus cuspidata*), 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*)와 섬노린재나무(*Synplocos chinensis* for. *Pilosa*)가 우점하였다. 초본층은 제주조릿대(*Sasa quelpaertensis*)가 우점하고 있었다.

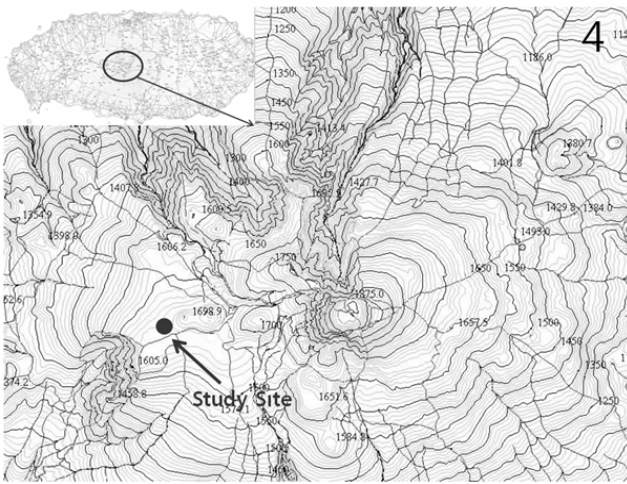


Figure 1. A map showing the study area. The close circle indicate the location of the *A. koreana* forest in the study area

## 2. 조사기간

본 연구는 2009년 4월에 영구방형구를 설치하여 2013년 11월까지 계절별로 조사하였다. 겨울에는 적설량이 1m 이상 되어 구상나무림의 위치를 찾을 수 없어 매년 봄(5월), 여름(8월)과 가을(11월)에 조사하였다.

## 3. 현존량

관목층과 초본층은 수확법을 이용하여 측정하였다. 교목층의 현존량을 측정하는 방법으로는 수확법이 가장 좋은 방법이지만, 한라산 국립공원에서 벌목하여 현존량을 측정하는 것은 어렵다. 이에 식물체를 구성하는 기관별 성장량과 전 개체의 성장량 사이에 특정한 관계가 성립되는 점을 이용하여 임목의 현존량을 계산하였다. 흉고직경(DBH)과 각 기관들 사이의 상대생장식을 이용하여 추정하였다. 흉고 직경은 매년 4월 줄자를 이용하여 측정하였다. 지하부 현존량은 지상부 현존량의 25%를 적용하여 계산하였다(Johnson and Risser, 1974).

본 연구에서 교목층의 현존량 측정을 위해 사용한 상대생장식(Wang *et al.*, 2011)은 Table 1과 같다.

Table 1. Allometric equations for each biomass component(B, Kg) against the diameter at breast height(D, cm) in different tree sizes. Equation form is  $\ln B=a+b$  the two coefficients of regression(Wang *et al.*, 2011)

| DBH range | components    | a      | b     | R2    |
|-----------|---------------|--------|-------|-------|
| 1≤DBH<10  | Stem wood     | -4.901 | 3.233 | 0.974 |
|           | Stem bark     | -5.535 | 2.799 | 0.930 |
|           | Live branches | -4.850 | 2.841 | 0.949 |
| 10≤DBH<20 | Stem wood     | -4.426 | 2.926 | 0.981 |
|           | Stem bark     | -4.941 | 2.549 | 0.947 |
|           | Live branches | -5.263 | 2.961 | 0.922 |
| 20≤DBH    | Stem wood     | -2.035 | 2.121 | 0.945 |
|           | Stem bark     | -7.031 | 3.169 | 0.975 |
|           | Live branches | -6.695 | 3.200 | 0.880 |

## 4. 낙엽생산량

낙엽을 통해 임상으로 공급되는 유기탄소량을 정량하기 위하여 2009년 6월 영구 방형구 안에 0.5 × 0.5m의 litter trap 5개를 설치하였다. 계절별로 낙엽을 수거하여 잎, 목질부, 생식기관, 기타로 분류하고 65℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량하였다. 연간 회수된 낙엽의 건량을 기초로 하여 단위면적 당 낙엽생산량으로 환산하였다.

## 5. 임상낙엽

임상낙엽은 영구방형구의 교란이 없는 상태에서 지속적 인 조사를 하기 위해 조사지역의 영구방형구 밖에 25 × 25 cm의 소형 방형구를 4개 설치하여 계절별로 수거하였다. 낙엽의 분해정도에 따라 L(Litter layer)층과 F층(Fermentation layer)으로 구분하여 채집봉투에 수거한 뒤, 이를 실험실로 운반하여 65℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량 하였다. 이를 이용하여 단위면적(ha)당 임상 낙엽량을 계산 하였다.

## 6. 유기탄소량

식물체 현존량, 낙엽생산량과 임상낙엽의 유기탄소량은 건량의 45%로 추정하였다(Houghton *et al.*, 1983).

토양의 유기탄소량 산정은 연구지역의 토심이 얇게 형성 되어 있어 일반적으로 적용되는 30cm까지의 토양채취가 현

실적으로 불가능하였다. 이러한 이유로 토양 채취에 앞서 먼저 조사지역 평균 토심(20cm)을 산정하여 평균 토심에 해당하는 깊이까지 토양을 채취하여 분석하였다. 토양 채취는 해당 지역이 영구방형구로 설정되어 있어 교란이 없는 상태에서 지속적인 조사가 필요한 이유로 조사구와 인접하여 조사구 내와 유사한 토양환경이라고 판단되는 지점에서 실시하였다. 토양 채취는 지점 당 깊이 10cm 간격으로 20cm 깊이까지 총 3개 지점에서 실시하였다. 이렇게 채집된 토양을 비닐팩에 밀봉 후 실험실로 운반하였다. 유기물 함량은 풍건세토 5g을 105℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량한 후 600℃ 전기로에서 4시간 정도 작열시킨 후 건중량에서 회분량을 빼어 계산하였고, 이를 1.724로 나누어 유기탄소함량으로 전환하였다(Black, 1965).

토양의 가비중을 측정하기 위해 직경 5cm, 길이 5.1cm인 원통형 토양샘플관을 이용하여 10cm 간격으로 토양을 채집하였고, 이를 각각 비닐팩에 넣어 실험실로 운반하였다. 채집한 토양을 105℃ 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켜 칭량한 뒤 그 값을 부피로 나누어 가비중을 계산하였다. 석력함량은 채취한 토양을 2mm 채로 걸러 석력의 무게를 측정 후 전체 무게에서 석력 무게의 비율을 계산하였다.

이를 통해 단위면적당 토양의 유기탄소축적량을 계산하였는데, 여기에 구상나무림의 석력비율을 고려하여 Wang *et al.*(2002)의 계산식을 이용하였다.

$SOC(kg/m^2) = \text{가비중}(ton/m^3) \times \text{유기탄소함량}(g/kg) \times \text{토양두께}(m) \times (1 - \text{석력비율})$

## 결과 및 고찰

### 1. 현존량 및 유기탄소량

구상나무림의 현존량은 2009, 2010, 2011, 2012 그리고 2013년에 각각 98.88, 106.42, 107.67, 108.31 와 91.48 ton  $ha^{-1}$ 이었고, 유기탄소량은 각각 44.5, 47.89, 48.45, 48.74와 41.17 ton C  $ha^{-1}$ 이었다(Figure 2). 현존량과 유기탄소량 모두 2012년까지 꾸준히 증가하다가 2013년에 감소하였다. 교목층의 기관별 유기탄소량은 줄기가 가장 많았으며 잎과 생식기관에 가장 적게 분포하였다. 지리산 해발 1,324m에 분포하는 구상나무림의 유기탄소량은 3.11ton C  $ha^{-1}yr^{-1}$  (Lee *et al.*, 2007)으로 본 구상나무림에 비하여 매우 낮았다. 이는 한라산 구상나무림의 밀도가 3,700그루  $ha^{-1}$  인데 비하여 지리산 구상나무림의 밀도는 1,172그루  $ha^{-1}$ 로 3배 이상 적었기 때문이다.

강원도 낮은 해발고도(600m)에 분포하는 같은 소나무과 잣나무림(*P. koraiensis*)현존량은 157.87 ton  $ha^{-1}$  이었다(Han, 2001). 그리고 소나무(600m) 현존량은 140.46ton

$ha^{-1}$ 였고 유기탄소량은 70.23ton C  $ha^{-1}$ 로 본 연구결과보다 높았다. 하지만 같은 한라산 아고산대(1,648m)에 위치한 주목림의 현존량은 31.75ton  $ha^{-1}$ 였고 유기탄소량은 14.29ton C  $ha^{-1}$ 이었으며, 눈향나무림(1,651)의 현존량은 17.81ton  $ha^{-1}$ 였고 유기탄소량은 7.34ton C  $ha^{-1}$ 였다(Jang, 2014). 또한 아고산대와 고산지대의 소나무(*P. densiflora*)현존량은 38.65ton  $ha^{-1}$  였으며, 자작나무(*Betula platyphylla*)현존량은 3.51ton  $ha^{-1}$  (Kjelvik and Karenlampi, 1975)로 본 연구결과보다 낮았다. 이 같은 이유는 해발고도가 높아질수록 수고가 낮아지기 때문에 현존량과 유기탄소량 또한 낮은 것으로 판단된다.

한라산 아고산대의 구상나무림에서 현존량과 유기탄소량 변동의 주 원인은 태풍이라고 판단된다. 태풍의 횡수는 강우량과 직결되며 강우량은 식물의 성장과 밀접한 연관이 있다. 최근 우리나라 최남단인 제주도는 다른 지역보다 태풍에 더 큰 영향을 받는다는 연구 결과가 있다(Altman *et al.*, 2012). 2011년도 현존량과 유기탄소량이 거의 증가하지 않았는데, 이는 1981~2010년도까지의 우리나라에 영향을 준 연평균 태풍 횡수는 25.6회이나 2010년에는 14회로 10회 이상 급감하였고(National Typhoon Center, 2011), 본 조사지에 인접한 잇새오름의 총 강수량 또한 2010년에 비해 2011년에 20,000mm가 줄었다(Korea meteorological administration, 2010-2011). 그리고 2012년 여름 태풍 블라벤의 영향으로 영구방형구 안에 있는 구상나무 4그루가 부러졌다. 이 때문에 나무가 성장함에 따라 증가해야 할 구상나무림의 현존량과 유기탄소량이 크게 감소하였다. 이 같은 결과는 강한 태풍이 한라산국립공원 아고산 생태계에 큰 영향을 끼친다는 것을 보여준다.

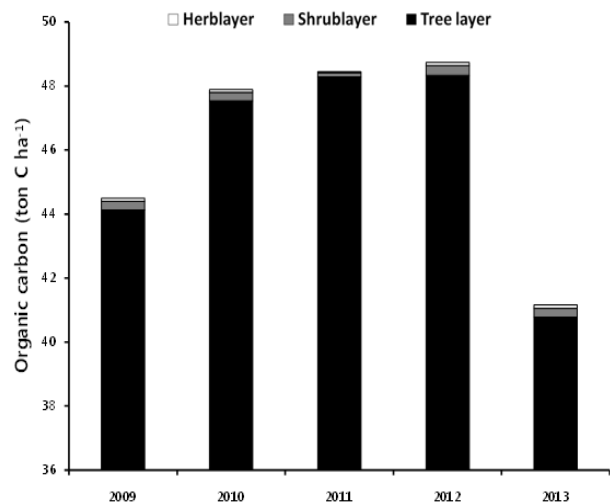


Figure 2. Amount of annual organic carbon (ton C  $ha^{-1}$ ) of *A. koreana* forest in the study area

## 2. 낙엽의 유기탄소량

낙엽생산을 통해 임상에 유입되는 유기탄소량은 2009년에 1.09 ton C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, 2010년에 0.17 ton C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, 2011년에 0.11 ton C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, 2012년에 0.15 ton C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, 2013년에 0.10 ton C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>이었다(Figure 3). 기관별 구성비는 잎이 68.7%, 목질부 14.3%, 생식부 6.4%, 기타 5.1%로 구성되어 있었다. 2011년에 낙엽생산량이 가장 적은 이유는 2010년 기상이변으로 우리나라에 영향을 준 태풍의 횡수가 연평균(25.6회)보다 10회 이상 줄어 강우량이 급감했기 때문이다(National Typhoon Center, 2011). 이는 나무의 성장에 큰 영향을 주었고 현존량이 거의 증가하지 않았기 때문에 낙엽생산량 또한 감소한 것으로 판단된다. 2012년에 낙엽생산량이 가장 많은 이유는 태풍 볼라벤으로 인한 강한 바람 때문이다. 매년 가을에 가장 많은 낙엽생산량을 보였다. 이는 주목(*Taxus cuspidata*), 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*), 소나무(*Pinus densiflora*)를 대상으로 한 연구에서도 동일한 결과를 보였다(Jang, 2013; Lee *et al.*, 2013; Jeong *et al.*, 2013). 이는 침엽수의 낙엽도 낙엽수처럼 가을에 집중적으로 일어나는 것을 알 수 있다.

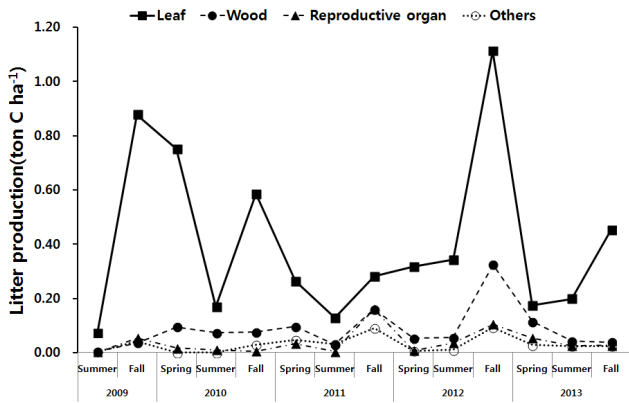


Figure 3. Seasonal changes of organic carbon of litter production(ton C ha<sup>-1</sup>) of the *A.koreana* forest from 2009 to 2013 in the study area

## 3. 임상 낙엽의 유기탄소량

임상 낙엽층의 유기탄소량은 평균 2.08 ton ha<sup>-1</sup>이었다. 매년 총 임상 낙엽량의 유기탄소량이 감소하였으며, 층별 임상 낙엽층의 유기탄소량은 L층이 F층보다 평균 0.46 ton ha<sup>-1</sup> 많았다(Figure 4). 구상나무는 같은 침엽수인 잣나무(Han, 2001), 소나무(Park and Lee, 1981; Lee *et al.*, 2013)보다 임상낙엽의 유기탄소량이 적었다. 이는 구상나무의 잎

이 작을 뿐만 아니라, 한라산 아고산이라는 지형적 특이성을 지니고 있어 암석의 노출이 많고, 바람과 강우량이 많아 임상의 낙엽을 축적하기 어렵기 때문으로 판단된다. 또한, 유기탄소량이 매년 감소한 이유는 태풍 등의 기상이변으로 인해 영구방형구 안에서 2012년에 3그룹, 2013년에 4그룹의 구상나무가 고사 또는 부러져 임목밀도가 감소한 것이 가장 큰 이유로 판단된다.

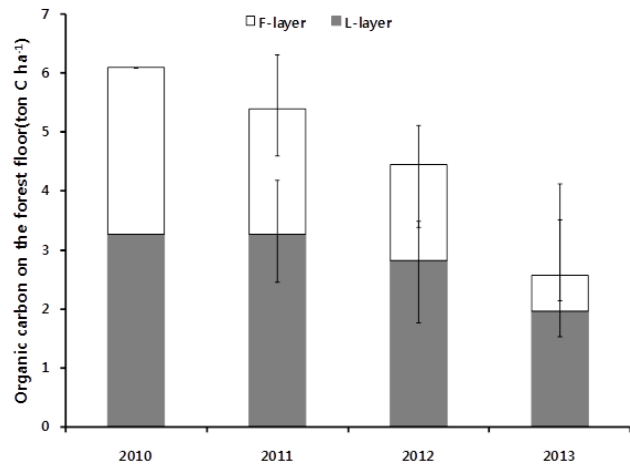


Figure 4. Organic carbon (ton C ha<sup>-1</sup>) on the forest floor of *A.koreana* forest in the study area

## 4. 토양의 가비중과 유기탄소 축적량

토양의 가비중은 지하 10cm에서 평균 0.42g/cm<sup>3</sup>, 지하 20cm에서 평균 0.40g/cm<sup>3</sup>이었다. 구상나무림의 5년 평균 토양 유기탄소 축적량은 49.53 ton C ha<sup>-1</sup>로 2009년, 2010년, 2011년, 2012년, 2013년도 평균 유기탄소 축적량은 각각 55.77, 54.90, 50.69, 44.42 와 41.87 ton C ha<sup>-1</sup>이었다(Fig. 5). 일반적으로 토양내 유기탄소량은 깊이가 깊어질수록(심층부) 감소하고(Eswaran *et al.*,1995), Lee, 2011; Jeong *et al.*, 2013; Han, 2014; Jang, 2014; Lee, 2014 등의 침엽수림 혹은 활엽수림의 연구에서도 모두 깊이가 깊어질수록(심층부) 토양유기 탄소가 감소함을 밝혔다. 전 연구자들의 연구결과와 유사하게 본 연구에서도 2011년 여름을 제외한 모든 조사에서 10cm깊이의 유기탄소 축적량이 20cm깊이보다 많은 것으로 분석되었다. 구상나무림의 평균 토양 유기탄소량은 토양 깊이(20cm)가 동일한 미국 침엽수림의 68 ton C ha<sup>-1</sup>(Coeli *et al.*,2012)이나, 남산 소나무림의 60.70 ton C ha<sup>-1</sup>(Jeong *et al.*, 2013) 그리고 월악산 소나무림의 189.439 ton C ha<sup>-1</sup>보다 적었다(Lee, 2014). 이처럼 구상나무림이 다른 식물림보다 임상낙엽량이 적은 이유는 토양의 유기탄소량은 낙엽 생산에 많은 영향을 받고(Hontoria, 1999),

낙엽생산량이 적으며, 매년 임상낙엽량이 꾸준히 감소했기 때문에 판단된다.

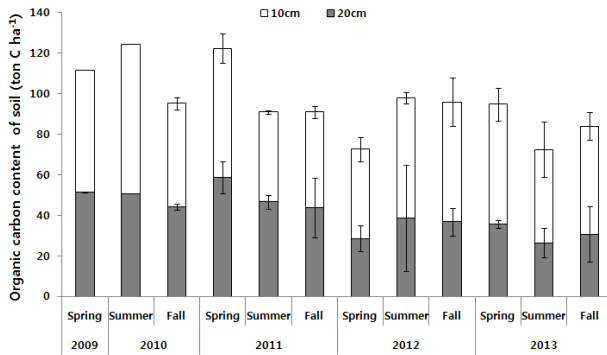


Fig. 5. Soil organic carbon (ton C ha<sup>-1</sup>) along the soil depth at the *A.koreana* forest in the study area

## 감사의 글

본 연구는 환경부의 국가장기생태연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Altman J., J. Dolezal., T. Cerny and J.S. Song(2012) Forest response to increasing typhoon activity on the Korean peninsula: evidence from oak tree-rings. *Global Change Biology*. 19(2): 498-504.
- Black C.A.(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. *Canadian Journal of forest research*. 36: 2223-2234.
- Coeli M.H., B.L. William and G.K. Brian(2012) Benchmark carbon stocks from old-growth forests in northern New England, USA. *Forest Ecology and Management*. 266:108-114.
- Dixon R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trxler and J. Wisniewski(1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*.263: 185-190.
- Eswaran H., E. Ban den Berg, P. Reich and J. Kimble(1995) Global soil carbon resources. In *Soils and Global Change* (Lal R Kimble JM, Levine E, Stewart BA, eds). CRC-Press. pp 27-44.
- Han S.K.(2001) Biomass, nutrient distribution and litterfall in unthinned Korean white pine(*Pinus koreaiensis*)plantation. Ph. M. thesis, University of Kangwon, Chuncheon, Korea.
- Han Y.S.(2014) Study on carbon distribution and budget of dominant plant community in Gotjawal, Jeju island. Ph. M. thesis, University of Kongju, Kongju, Korea.
- Hontoria C,R. Murillo, J. Carlos and A. Saa(1999) Relationships between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 614-621.
- 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 CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecological Monoger.* 53: 235-262.
- Hu H. and G.G. Wang(2008) Changes in forest biomass carbon storage in the soyth *Carolina piedmont* between 1936 and 2005. *Forest Ecology and Management*. 255(5~6): 1400-1408.
- IPCC(2007) Climate change 2007: Impacts, adaptayion and vulnerability. Food, fiber and forest products, in: *Impacts, Adaptation and Velnerability*, Cambridge : Cambridge Univ. Press.
- Jang R.H.(2014) Carbon distribution and budget *Abies koreana* community, *Taxus cuspidate* community and *Juniperus chinensis* var. *sargentii* community of subalpine zone at Mt. Halla. Ph. M. thesis, University of Kongju, Kongju, Korea.
- Jang S. K., H. S. Jung and H. I. Yun(1998) Global warming and recent retreat of an ice cliff on King george island, South shetland islands, West Antarctica J. of the Korean Earth Science Society. 19(1): 101-106
- Jeong H.M., H.R. Kim, D.H. Shin, K.M. Lee, S.H. Lee, Y.S. Han, R.H. Jang, S.K. Lee, T.K. Kim and Y.H. You(2013) Litter production and soil organic carbon dynamines of *Pinus densiflora*, *Quercus mongolica* and *Robinia pseudo-acacia* forests in Mt.Nam. *Korea Journal of Environmental Biology*. 31(2): 87-95. (in Korean with English abstract)
- Johnson Fl.L. and P.G. Risser(1974) Biomass annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak\*blackjack oak forest. *Ecology*.55: 1246-1258.
- Johnson P.D., T.M. L. Wigley and P.B. Wright(1986) Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*. 322: 430-434.
- Kim G.T. and G.C. Choo(2000) Comparison of growth condition of *Abies koreana* Wilson by districts. *Korean J. of Environment&Ecology*. 14(1):80-87. (in Korean with English abstract)
- Kjelvik S. and L. Karenlampi(1975) Plant biomass and primary production of fennoscandian subarctic and subalpine forests and of alpine willow and heath ecosystems. *Fennoscandian Tundra Ecosystems*. 16: 111-120.
- Korea Meteorological Administration(2009) Whitepaper of enviroppment. Korea Meteorological Administration. 65pp.
- Korea Meteorological Administration(2010) Annual report of au-

- automatic weather station data. 25pp.
- Korea Meteorological Administration(2011) Annual report of automatic weather station data. 25pp.
- Korea Meteorological Administration(2013) Annual report of automatic weather station data. 25pp.
- Law B.E., P.E. Thornton, J. Irvine, P.M. Anthorn and S. Vantuyll(2001) Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different developmental stages. *Global Change Biology*. 7: 755-777.
- Lee C.B.(1970) *Abies koreana* and its now forms discovered. *Journal of Korean Forest Society*. 10(1): 5-6.
- Lee J.Y., D.K. Kim, H.Y. Won and H.T. Mun(2013) Organic carbon distribution and budget in the *Pinus densiflora* at Mt. Worak national park. *Korean J. Environment&Ecology*. 27(5): 561-570.
- Lee S.H.(2014) Carbon distribution and budget of the dominant deciduous plant communities in Worak national park. Ph. M. thesis, University of Kongju, Kongju, Korea.
- Lee S.K.(2011) Production and litter decomposition and organic carbon distribution in *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* and *Robinia pseudoacacia* forest at Mt. Nam. Ph. M. thesis, University of Kongju, Kongju, Korea.
- Lee, D.H., J.H. Yoon and K.S. Woo(2007) Studies on biomass for young *Abies koreana* Wilson. *Journal of Korean Forest Society*. 96(2): 138-144.
- McKenny G. W., D. Yemshanov, G. Fox and E. Ramlal(2004) Cost estimate for carbon sequestration from fast growing popular plantation in Canada. *Forest Policy and Economics*. 6: 345-358.
- National Typhoon Center(2011) Analysis report of 2010 typhoon. Korea Meteorological Administration. Korea. 16-17pp.
- Ovington J.D. and D.Heitkamp(1960) The accumulation of energy in forest plantation in Berlin. *Ecology*. 48: 639-646.
- Park C. Y(2012) Emissions Trading & Trust. *The Journal of Comparative Private Law*. 19(4): 1099-1142.
- Park B.G. and I.S. Lee(1981) A model for litter decomposition of the forest eco system in seoul Korea. *Journal of Ecology and Field Biology*. 4(1): 38-51.
- Park I.H., D.Y. Kim, Y.H. Son, M.J. Yi, H.O. Jin and Y.H. Choi(2005) Biomass and net production of a natural *Quercus mongolica* forest in Namsan, Seoul. *Korean J. of Environment&Ecology*. 19(3): 299-304.
- Post, W.M., W.R. Emanuel, P.J. Zinke and A.G. Stangenberger(1982) Soil carbon pools and world life zones. *Nature*. 298: 156-159.
- Richards K.R. and C.Stokers(2004) A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climate Change* 63: 1-48.
- Sohngen B. and R. Mendelsohn(2003) An optimal control model of forest carbon sequestration. *American Journal of Agricultural Economics*. 85: 448-457.
- Song K.M.(2011) Vegetation structure and dynamics of *Abies koreana* forests on Mt. Halla. Doctor's Thesis, University of Jeju, Jeju, Korea.
- Tans, P.P., I.Y. Fung, and T.Takahashi(1990) Observational constraints on the global atmosphere CO<sub>2</sub> Budget. *Science*. 247: 1431-1438.
- Wang G., J. Qian, G. Cheng and Y. Lai(2002) Soil organic carbon pool of grassland on the Qunghai-Tibetan plateau and its global implication *Sci. Total Environment*. 29: 207-217.
- Wang J.C. Zhang, F. Xia, L. Wu and K.V. Gadow(2011) Biomass structure and allometry of *Abies nephrolepis*(Maxim) in Northeast China. *Silva Fennica*. 45(2): 211-226.
- Winjum J.K., R.K. Dixon and P.E. Schroeder(1992) Estimating the Global potential of forest and agro forest management practices to sequester carbon. *Water, Air and Soil Pollut.* 64: 213-227.