

## 소백산국립공원 산림생태계의 토양미생물호흡량 평가\*

이상진<sup>1)</sup> · 이창민<sup>2)</sup> · 양승아<sup>2)</sup> · 정해중<sup>3)</sup> · 이종명<sup>4)</sup> · 민영기<sup>4)</sup> · 김진원<sup>5)</sup> · 명현호<sup>5)</sup> · 박홍철<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 농업과학연구소 교수 · <sup>2)</sup>충남대학교 산림자원학과 학생 ·

<sup>3)</sup>(주)산림정보 대표이사 · <sup>4)</sup>(주)산림정보 이사 · <sup>5)</sup>국립공원연구원 박사

## Estimation of Soil Microbiological Respiration Volume in Forest Ecosystem in the Sobaeksan National Park of Korea\*

Lee, Sang-Jin<sup>1)</sup> · Lee, Chang-Min<sup>2)</sup> · Yang, Seung-Ah<sup>2)</sup> · Jung, Hae-Joong<sup>3)</sup> ·  
Lee, Jong-Myung<sup>4)</sup> · Min, Young-Gi<sup>4)</sup> · Kim, Jin-Won<sup>5)</sup> · Myung, Hyun-Ho<sup>5)</sup> and Park, Hong-Chul<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Institute of Agriculture Science, Chungnam National University, Professor,

<sup>2)</sup>Department of Forest Resources, Chungnam National University, Student,

<sup>3)</sup>Forest Information Corp., Representative Director,

<sup>4)</sup>Forest Information Corp., Director,

<sup>5)</sup>Korea National Parks Research Institute, Ph.D.

### ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate carbon dioxide emissions from soil microbial respiration by forest type of Sobaeksan National Park. As a result of estimating the annual soil microbiological respiration volume by forest type in Sobaeksan National Park, broad-leaved forests, coniferous forest, artificial forests were similar to around 19.5 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr. In the case of coniferous forests in sub-alpine and grassland near Birobong Peak, 12.2 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr and 8.1 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr, respectively, were lower than general forest areas. And as a result of analyzing the changes in soil microbiological respiration rate according to forest type in Sobaeksan National Park, the soil microbiological respiration rate in coniferous forests, broad-leaved forests, artificial forests, and sub-alpine areas was the highest in the

\* 이 논문은 국립공원공단 국립공원연구원에서 수행한 2022년 「국립공원 육상생태계 탄소저장·흡수량 평가 체계 구축」 사업의 지원을 받아 작성되었음.

**First author** : Lee, Sang-Jin, Institute of Agriculture Science, Chungnam National University, Professor,  
Tel : +82-42-821-7836, E-mail : sangjin78@gmail.com

**Corresponding author** : Park, Hong-Chul, Korea National Parks Research Institute, Ph.D.,  
Tel : +82-33-769-1632, E-mail : parkhc@knps.or.kr

**Received** : 14 March, 2023. **Revised** : 15 June, 2023. **Accepted** : 17 May, 2023

July survey in summer and the lowest in November in late autumn. The change in soil microbial respiratory volume according to the measurement time in Sobaeksan National Park was the highest between 12:00 and 16:00, when the soil temperature was generally the highest among the days. It is known that the soil temperature is relatively low and the amount of soil microbial respiration decreases during winter, and the change in respiratory volume over the measurement time during the day was the smallest in November, when the amount of soil microbial respiration was relatively smaller than the May-September survey. However, this study has limitations in revealing the causal relationship of various environmental factors that affect the soil microbial respiration. Therefore, it is suggested that long-term research and investigation of various factors affecting soil respiration are needed to understand the carbon cycle of forest ecosystems.

**Key Words :** Carbon neutrality, Soil respiration, Protected area, Nature Based Solution, Climate change

## I. 서 론

2016년 발효된 파리협정 및 2019년 UN 기후 정상화 이후, 전 세계는 기후위기 해결을 위한 글로벌 의제로서 2050년 탄소중립을 선언하고 있다(Lee *et al.*, 2022). 이러한 국제정세 속에서 탄소중립 실현을 수단으로 자연생태계에 존재하는 탄소흡수원을 유지·확대하여 대기 중 온실 가스를 상쇄·감축하는 방안이 주목받고 있다(Dudley *et al.*, 2010; IUCN, 2020; KFRI, 2021; Lee *et al.*, 2022).

생태계 유형중 산림생태계는 국토의 63%가 산림인 우리나라에서 탄소중립을 위한 중요 전략으로 부상하고 있다. 특히 국립공원과 같은 보호지역 산림생태계는 오랜 기간 동안 보전·관리 되어 온 생물서식지로서, 과거와 현재 그리고 미래 온실가스 감축 및 기후변화 완화·적응에 기여하는 부분이 많다는 공감대가 국제사회에서 확산되고 있다(KFRI, 2021; Lee *et al.*, 2022).

식물체의 탄소저장·흡수기능은 지구탄소순환에 기여하는 가장 중요한 구성요소로 알려져 있으며, 이에 대한 조사·연구가 활발하게 이뤄지고 있다. 반면 토양미생물 호흡에 따른 이산화탄소 배출량 측정·평가는 산림생태계의 실질 이

산화탄소 흡수량을 상쇄하는 반대급부로 작용할 수밖에 없으므로, 토양 호흡량에 대한 조사·연구에 대한 필요성 및 정책적 추진력이 부족한 실정이다. 하지만 토양은 식물과 더불어 산림생태계를 구성하는 중요한 부분으로서, 산림생태계에 대한 순 이산화탄소 흡수량을 평가하기 위해서는 식물체에 의한 이산화탄소 흡수량뿐만 아니라 토양 미생물에 의한 이산화탄소 배출량까지 반영해야 한다.

일반적으로 토양은 생태계에 축적된 총 탄소저장량의 50% 이상을 차지하고 있으며(Vitousek, 1991; Lee *et al.*, 2010), 대기 중으로 방출되는 이산화탄소의 양은 연간 최대 120Gt으로 화석연료에 사용에 따른 배출량의 20배에 달하는 것으로 알려져있다(Raich and Schlesinger, 1992; Schimel *et al.*, 1996. Lee *et al.*, 2010). 이렇듯 토양으로부터 방출되는 이산화탄소 배출량을 객관적·과학적으로 정량화하는 작업은 자연생태계를 통한 이산화탄소 감축 및 기후변화 대응을 위한 첫 단계로 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 국립공원 산림생태계를 대상으로 주요 식생유형별 토양미생물 호흡에 따른 이산화탄소 배출량을 평가하고자 하였으며, 이를 통해 향후 국립공원 자연생태계를 활

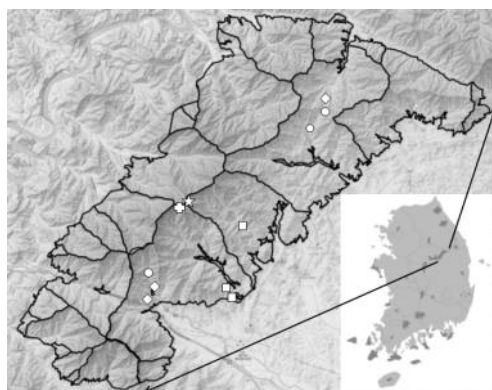
용한 기후변화 대응 및 탄소중립 정책기반 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## II. 대상지 및 방법

### 1. 대상지 현황

한국에서 자연공원법에 따라 국립공원으로 지정·관리되고 있는 22개 국립공원 중 소백산국립공원 대상으로 연구를 수행하였다. 소백산국립공원 1987년 18번째 국립공원으로 지정되었으며 면적은 322.011 km<sup>2</sup>로 지리산, 설악산, 오대산에 이어 산악형 국립공원 중 네 번째로 넓은 면적을 차지한다(국립공원공단 누리집). 지리적으로 우리나라 중부내륙의 중심에 위치하고 있으며, 식물생태학적으로 낙엽활엽수가 넓은 면적으로 분포하고 있다. 총 1,020종의 식물이 서식하고 있으며, 가시오갈피나무, 날개하늘나리, 복주머니란 3종의 멸종위기야생생물이 서식하고 있기도 하다. 산 정상부는 아한대 기후를 보이고 있어 다양한 북방계 식물이 서식하고 있는 것이 특징이다. 또한 소백산국립공원은 제주도에 위치한 한라산국립공원을 제외한 내륙 21개 국립공원 중 단위면적당 탄소저장량이 가장 높은 공원(Lee *et al.*, 2022)으로서, 기후변화 대응 온실가스 흡수·저장기능이 높은 공원이라고 할 수 있다.

산림의 임상별 특성을 구분하여 분석·비교하기 위해, 산림식생을 침엽수군락(소나무우점군락) 3개소, 활엽수군락(신갈나무우점군락) 3개소, 인공조림지(일본잎갈나무우점군락) 3개소, 아고산대 상록침엽수군락(주목우점군락) 1개소, 초지 1개소로 구분하여 총 11개의 조사지역에서 연구를 수행하였다.



**Figure 1.** Map of study site in Sobaeksan National Park of Korea

□ Coniferous forest, ○ Broad-leaved forest  
◇ Artificial afforestation, ☆ Subalpine forest,  
⊠ Grassland)

### 2. 조사 및 분석방법

#### 가. 측정구 설치

본 연구에서 사용한 토양미생물 호흡량 측정 방법은 챔버법으로 토양으로부터 방출되는 이산화탄소를 직접 측정하는 방법(Nay *et al.*, 1994; Bekku *et al.*, 1997; Pongracic *et al.*, 1997; Ledantec *et al.*, 1999)으로 타 연구에서 가장 많이 적용되어온 방법(Lee *et al.*, 2010)이다.

토양미생물 호흡량 측정을 위하여 소백산국립공원 내 침엽수림 3개 지역, 활엽수림 3개 지역, 인공림 3개 지역 그리고 아고산 침엽수림 및 초지에서 각각 1개씩 총 11개 조사구에서 1m×1m의 방형구를 설치(Figure 2)하고, 방형구 내 지피식생을 모두 제거하였다. 방형구 경계선 밖으로 폭 약 25cm, 깊이 약 70cm의 내외의 도랑을 파내어, 경계면의 모든 뿌리를 절단하고 방근 매트(방근 매트)를 도랑 주위에 둘러서 뿌리가 침입하지 못하도록 하였다. 이후 방근 매트 주위를 흙으로 다시 메우고 지표면에 돌출된 방근 매트를 잘라서 정리하였다. 또한 토양미생물 호흡량 조사 시 방형구 내 이입된 식물이 존재할 경우 목본류는 지상부를 절단하고, 초본류는 토양이 교란되지 않도록 주의하며 이입된 식물을 제거하

여 토양미생물 호흡량 측정을 위한 단근 처리구를 관리하였다. 또한 뿌리호흡을 포함한 전체 토양호흡량 측정을 위하여 단근처리구 주변 반경 10m 내외에 단근처리를 하지 않은 1m×1m의 방형구를 추가로 설치하였다. 휴대용 이산화탄소 가스 분석기를 이용하는 토양호흡 측정의 경우 매회 측정을 위한 챔버 설치 시 토양 표층의 교란이 발생할 수 있으며, 이를 최소화하기 위하여 칼라(collar)를 높이 8cm로 제작하여 방형구 중앙에 설치하였다.



Figure 2. Installing a square quadrat

#### 나. 측정장비

휴대용 이산화탄소 가스 분석기(EGM-5, PP Systems)에 SRC-2 토양 호흡 챔버를 연결(Fig. 3)하여 Dynamic closed chamber method를 이용하여 측정하였다. 토양호흡 측정 챔버(SRC-2, Soil Respiration Chamber)를 사용하여 Soil CO<sub>2</sub> efflux를 측정하는데 사용하였으며, 호흡 속도( $g\ m^{-2}\ hr^{-1}$ )는 일정 기간동안 챔버 CO<sub>2</sub> 농도의 변화 속도를 측정하여 계산된다.

#### 다. 측정방법

토양미생물 호흡량 측정은 5월, 7월, 9월, 11월에 측정하였으며, 토양미생물 호흡량은 단근 처리된 방형구의 토양호흡량을 이용하였다 (Hwang *et al.*, 2010). 각 측정 월에 조사구 밖에서 비박하며 하루 동안 약 2시간 간격으로 12회 측정하였다. 겨울철 토양 호흡 측정이 불가능하여 Son and Kim(1996)이 적용한 이른 봄이나 늦가을의 이산화탄소 발생량을 동절기의 방출량과 동일하게 취급하는 간접법(Ellert and Gregorich,



Figure 3. EGM-5 and SRC-2

1995)를 응용하였다. 본 연구에서 연간 토양미생물 호흡량을 산출함에 있어서 12월부터 2월까지의 이산화탄소 발생량이 늦가을인 11월에 조사된 발생량과 동일하다는 가정하에 연간 토양미생물 호흡량을 추정하였다. 또한 5월과 7월 그리고 9월에 조사된 토양미생물 호흡량은 각각의 계절별로 유사하다는 가정하에 조사되지 않은 같은 계절에 적용하여 연간 토양미생물 호흡량을 산출하였다. 봄철인 3월에서 5월까지의 토양미생물 호흡량은 5월에 조사된 자료를 이용하였으며, 여름철인 6월에서 8월의 토양미생물 호흡량은 7월에 조사된 자료를 적용하였다. 가을인 9월에 조사된 자료는 10월에 동일하게 적용하여 연간 토양미생물 호흡량을 산출하였다.

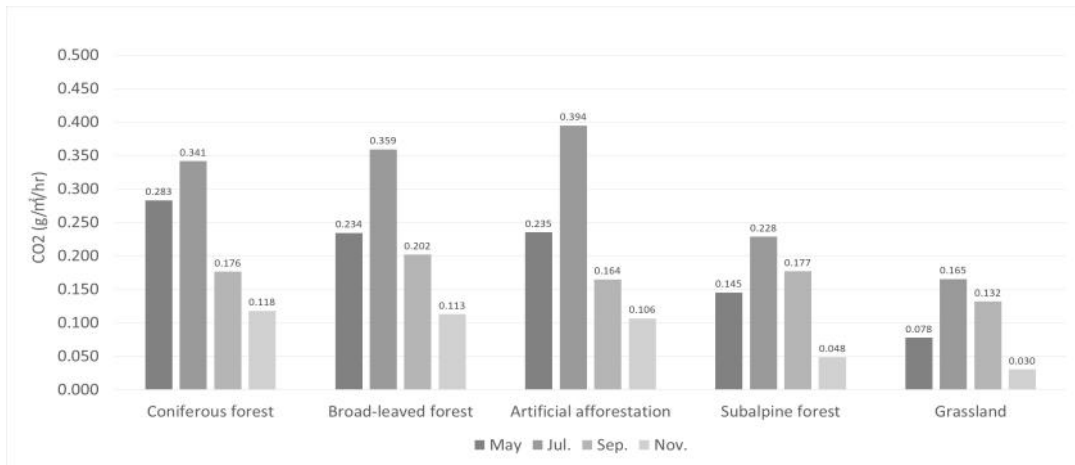
### III. 결과 및 고찰

#### 1. 측정시기에 따른 토양미생물 호흡량 변화

소백산국립공원 내 임상에 따른 시기별 토양미생물 호흡량 변화를 분석한 결과는 Table 1 및 Figure 4와 같다. 침엽수림, 활엽수림, 인공림 및 아고산지역의 토양미생물 호흡량은 5월, 7월, 9월, 11월 조사 결과 중에서 모두 여름철인 7월 조사에서 가장 높게 나타났으며, 늦가을인 11월 조사에서 가장 낮게 나타났다. 여름철인 7월에 토양미생물 호흡량은 침엽수림, 활엽수림, 인공림에서 0.341~0.394 CO<sub>2</sub>-g/m<sup>2</sup>/hr의 범위로 큰 차이를 보이지 않으나 아고산침엽수림과 아고산초지에서 이보다 낮은 0.165~0.228 CO<sub>2</sub>-g/m<sup>2</sup>/hr의 범위로 나타나 일반적인 산림지역과는 차이를 보였다. 선행연구에 의하면 토양 유기물과

**Table 1.** A results of soil microbial respiration by measured month Unit: CO<sub>2</sub>-g/m<sup>2</sup>/hr

Month	Coniferous forest	Broad-leaved forest	Artificial afforestation	Subalpine forest	Grassland
May	0.283	0.234	0.235	0.145	0.078
Jul.	0.341	0.359	0.394	0.228	0.165
Sep.	0.176	0.202	0.164	0.177	0.132
Nov.	0.118	0.113	0.106	0.048	0.030
<b>Average</b>	<b>0.229</b>	<b>0.227</b>	<b>0.225</b>	<b>0.150</b>	<b>0.101</b>



**Figure 4.** A graph of soil microbial respiration by measured month

토양온도는 토양호흡과 정의 상관관계를 보이는데(Raich and Nadelhoffer, 1989; Yi, 2003), 한국 국립공원 산림생태계의 수목에 의한 탄소 저장량은 아고산대 상록침엽수군락의 경우 308.5 CO<sub>2</sub>-ton/ha로 침엽수림(583.6), 활엽수림(563.6), 인공림(682.7)에서 보다 낮은 수목 탄소 고정량을 보이고 있기 때문에(Lee *et al.*, 2022) 이에 따라서 토양으로 유입되는 유기물 양의 차이 및 아고산지역에서 상대적으로 낮은 토양온도의 영향으로 판단된다.

여름철인 7월의 토양미생물 호흡량은 9월과 11월로 갈수록 크게 감소하였다. 일반적으로 토양 내 이산화탄소 발생량은 토양 온도와 높은 정의 상관관계를 보이며, 국내의 경우 높은 기온을 보이는 7월~8월에 연중 최고치에 이르며 이후 점차 감소하는 경향을 보이는 것으로 알려

져 있어(Yi, 2003; Hwang *et al.*, 2010; Son and Kim, 1996; Duloherly *et al.*, 1996) 선행연구의 결과와 일치하였다.

침엽수림, 활엽수림, 인공림의 경우에는 일반적인 산림지역으로 7월 > 5월 > 9월 > 11월의 순으로 토양미생물 호흡량이 감소하였다. 아고산대 상록침엽수림과 초지 지역의 경우에는 7월 > 9월 > 5월 > 11월의 순으로 토양미생물 호흡량이 감소하여 일반적인 산림지역과 다르게 9월 보다 5월의 토양미생물 호흡량이 더 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 아고산지역의 경우 9월의 토양온도는 일반적인 산림지역과 큰 차이를 보이지 않는 반면에 5월의 경우에는 늦봄까지 녹지 않은 눈의 영향 등으로 일반적인 산림지역 보다 상대적으로 낮은 온도를 보이기 때문에 이와 같은 계절에 따른 임상별 온도 차이의 영향

**Table 2.** A results of soil microbial respiration and include root respirationUnit: CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr

Division	Coniferous forest	Broad-leaved forest	Artificial afforestation	Subalpine forest	Grassland
Microbial respiration	19.7	19.2	19.3	12.2	8.1
Microbial respiration + Root respiration	30.0	27.6	30.8	27.0	16.3

으로 판단된다.

소백산국립공원 내 측정 시간에 따른 토양미생물 호흡량 변화는 하루 중에서 일반적으로 토양온도가 가장 높은 12시경부터 16시경 사이에 가장 높게 나타났다. 동절기에는 상대적으로 토양온도가 낮고 토양미생물 호흡량이 적어지는 것으로 알려져 있으며, 조사 결과 하루 중 측정 시간 경과에 따른 호흡량 변화량은 5월과 9월에서의 조사결과 보다 토양미생물 호흡량이 상대적으로 적은 11월에 가장 변화 폭이 작게 나타났다. 또한 토양미생물 호흡량이 상대적으로 많은 침엽수림, 활엽수림, 인공림에서 하루 중 측정 시간 경과에 따른 토양미생물 호흡량 변화량이 크게 나타났으며, 토양미생물 호흡량이 상대적으로 적은 아고산지역의 경우에는 그 변화량이 작게 나타났다. 상세한 측정값은 Appendix 1~4와 같다.

## 2. 유형별 토양미생물 호흡량

소백산국립공원 내 임상별 연간 토양미생물 호흡량을 추정된 결과는 Table 2과 같다. 침엽수림, 활엽수림, 인공림의 경우 19.5 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr 내외로 유사하게 나타났다. 비로봉 인근 아고산 침엽수림과 초지의 경우에는 각각 12.2 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr와 8.1 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr로 나타나 일반적인 산림지역보다 낮게 나타났다. Lee *et al.*(2012)은 공주시 인근의 상수리나무림에서 발생한 토양호흡량 결과를 단위환산하면 연간 총 토양호흡량은 43.20 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr이며, 단근처리구의 미생물호흡량은 28.34 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr로 나타나 본 연구 결과보다 다소 높게 나타났다. Son and Kim(1996)은 경

기도 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지 토양에서 연간 이산화탄소 총 발생량이 23~26 ton/ha/yr로 보고하였으며, 이 중에서 뿌리호흡이 차지하는 비율은 약 3% 정도로 추정하여, 토양미생물 호흡량만을 반영한다면 본 연구의 결과와 유사하게 나타났다. Son *et al.*(2007)은 한국 참나무림의 물질생산과 양분순환 연구에서 강원도 3개 임분에서 연간 총 토양 호흡량은 31.5~33.8 ton/ha로 보고하고 있으며 이 중에서 뿌리호흡을 제외한 토양미생물 호흡량만을 반영한다면 본 연구의 결과와 유사한 수준으로 판단된다.

소백산국립공원 내 전체 토양호흡량 중 뿌리호흡의 연평균 비율은 침엽수림(34.5%), 활엽수림(30.4%), 인공림(37.4%)에서 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 아고산침엽수림(55.0%)과 아고산초지(50.1%)는 전체 토양호흡량 중 뿌리호흡의 연평균 비율이 조사된 일반적인 산림지역보다 비교하여 매우 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 교목이 자라고 있는 침엽수림, 활엽수림, 인공림의 경우 낙엽, 낙지 등 유기물 생산량이 상대적으로 아고산 지역보다 많으며 이에 따른 낙엽생산력, 낙엽의 분해율, 식생형, 미생물 활동 등의 차이에서 발생한 결과로 판단된다. 선행연구들에서 전체 토양호흡 중 뿌리 호흡의 비율을 살펴보면 Lee *et al.*(2012)은 상수리나무림에서 34.40%, Lee *et al.*(2010)은 참나무속 우점림에서 31%로 보고한 바 있다. 전체 토양호흡량 중 뿌리호흡의 비율은 식생의 종류나 생육단계에 따라 차이를 보이며 국외 여러 연구에서 일반적으로 20%~60%로 추정하고 있으며(Behera *et al.*, 1990; Bowden *et al.*, 1993; Ellert and Gregorich, 1995; Ewe *et al.*, 1987;

Kelting *et al.*, 1995) 본 연구결과는 선행연구들의 범위 내로 분석되었다.

#### IV. 결론 및 제언

소백산국립공원의 임상별 토양미생물 호흡량을 분석한 결과 침엽수림, 활엽수림, 인공림의 시간당 평균 호흡량은 약 0.227 CO<sub>2</sub>-g/m<sup>2</sup>/hr 그리고 연간 평균 호흡량은 약 19.5 CO<sub>2</sub>-ton/ha/yr 내외로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 아고산대 상록침엽수군락 및 초지 지역의 경우에는 이보다 낮은 토양미생물 호흡량을 보였는데 선행연구 결과들과 비교하여 보면 토양으로 유입되는 유기물 양의 차이 및 상대적으로 낮은 토양온도의 영향으로 사료된다. 본 연구는 임상, 계절, 시간에 따른 토양호흡 및 토양미생물 호흡량 조사를 통하여 소백산국립공원 내 아고산 지역의 토양미생물 호흡량은 침엽수림, 활엽수림, 인공림과 같은 일반적인 산림토양에서와 차이를 보이고 있음을 확인하였다. 그러나 토양미생물 호흡량은 지상부와 세근을 포함한 지하부에서의 유기물 공급량 및 유기물의 성질 그리고 토양 온도 등 토양호흡에 영향을 주는 다양한 인자들에 대한 면밀한 인과관계를 밝히기에는 내용적 범위에서 한계가 존재한다. 따라서 산림생태계 내 탄소의 순환을 이해하기 위해서는 토양호흡에 영향을 주는 다양한 인자들에 대한 조사 및 장기간의 연구가 필요할 것으로 제언한다.

#### References

Behera, N. · S. K. Joshi and D. P. Pati. 1990. Root contribution to total soil metabolism in a tropical forest soil from Orissa, India. *For. Ecol. Manage.* 36 : 125-134

Bekku, Y. · H. Koizumi · T. Oikawa and H. Iwaki. 1997. Examination of four methods for measuring soil respiration. *Soil Ecology* 5,

247-254.

Bowden, K. D. · K. J. Nadelhoffer · R. D. Boone · J. M. Melillo, and J. B. GaiTison. 1993. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 23(7) : 1402-1407

Dudley, N. · S. Stolton · A. Belokurov · L. Krueger · N. Lopoukhine · K. MacKinnon · T. Sandwith and N. Sekhran. 2010. *Natural Solutions: Protected areas helping people cope with climate change*, IUCN-WCPA, TNC, UNDP, WCS, The World Bank and WWF, Gland, Switzerland, Washington DC and New York, USA

Dulohery, C. J. · L. A. Morris and R. Lowrance. 1996. Assessing Forest Soil Disturbance through Biogenic Gas Fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:291-298

Ellert, B. H. and E. G. Gregorich. 1995. Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. Pages 119-138 in W.W. McFee and J.M. Kelly. eds. *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Sci. Soc. Am.

Ewel, K. C. · W. P. Cropper and H. L. Gholz. 1987. Soil CO<sub>2</sub> evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration. *Can. J. For. Res.* 17 : 330~333

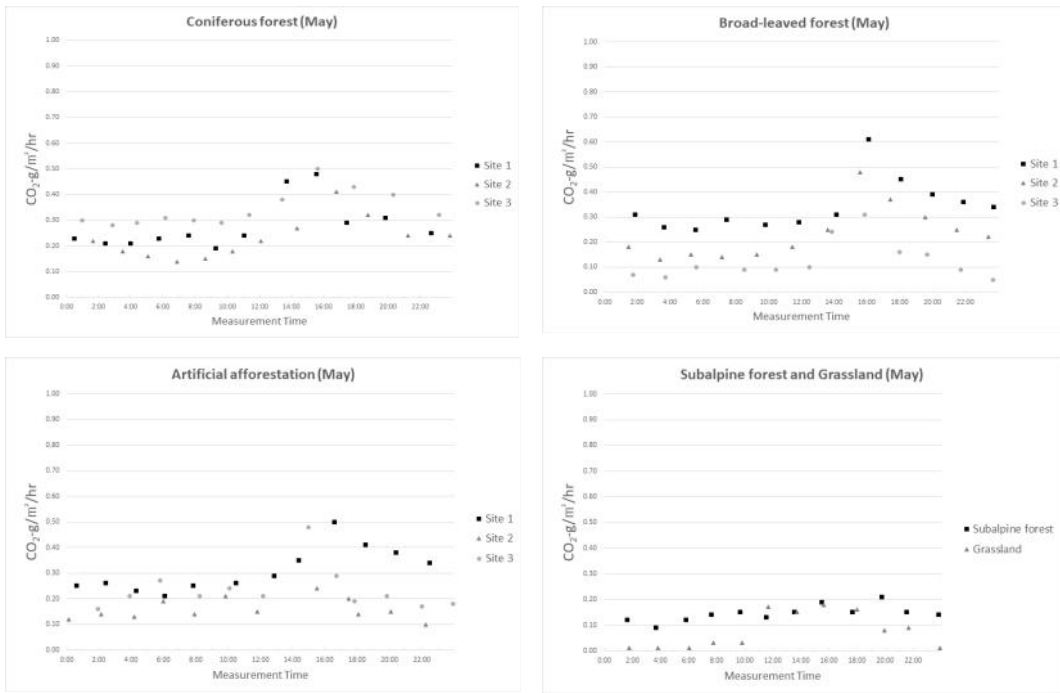
Hwang EJ · Jeong MJ and Lee MJ. 2010. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a *Quercus mongolica* stand : the contribution of root respiration. *Proceedings of the 2010 Spring Meeting of the Korean Forest Society*. pp. 236

IUCN(2020) *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS.*

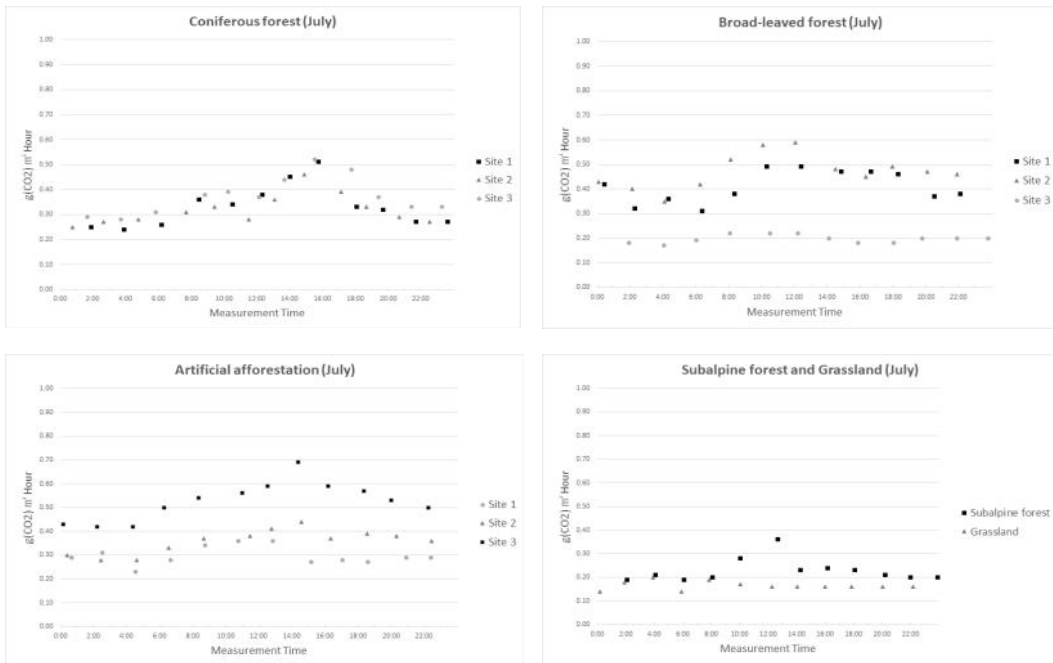
- First edition. Gland, Switzerland. 30pp
- Kelting, D. L. · J. A. Burger and G. S. Edwards. 1995. Fractionating total soil respiration into root, rhizomicrobial, and non-rhizomicrobial respiration components. Agron. Abst. PP. 308
- KFRI(2021) Utilization of NBS in the forest sector with climate change. Seoul, Korea. 109pp
- Le Dantec · V. D. Epron and E. Dufrene. 1999. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a beech forest: comparison of two closed dynamic systems. Plant and soil 214, 125-132
- Lee EH · Lim JH and Lee JS. 2010. A Review on Soil Respiration Measurement and Its Application in Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 12(4): 264~276
- Lee KJ · Won HY and Mun HT. 2012. Contribution of Root Respiration to Soil Respiration for *Quercus acutissima* Forest. Korean Journal of Environment and Ecology. 26(5) : 780-786
- Lee NY · Koo JW and Noh NJ. 2010. Autotrophic and heterotrophic respiration in needle fir and *Quercus*-dominated stands in a cool-temperate forest, central Korea. J Plant Res. 123 : 485~495
- Lee SJ · Park HC · Park GS · Kim HS · Lee CM · Kim JW · Sim GW and Choi SW. 2022. Estimation of Carbon Storage for Trees in Forest Ecosystem in the National Parks of Korea. J. Korean Env. Res. Tech. 25(3) : 1~16
- 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.
- Pongracic, S. · M. U. F. Krischbaum and R. J. Raison. 1997. Comparison of soda lime and infrared gas analysis techniques for in situ measurement of forest soil respiration. Canadian Journal of Forest Research 27, 1890-1895
- Raich, J. W. and W. H. Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus 44, 81-99.
- Schimel, D. S. · B. H. Braswell · R. Mckeown · D. S. Ojima · W. J. Parton and W. Pulliam. 1996. Climate and nitrogen controls on the geography and timescales of terrestrial biogeochemical cycling. Global Biogeochemical Cycle 10, 677-692
- Son YH · Kim DH · Park IH · Lee MJ and Jin HO. 2007. Production and nutrient cycling of oak forests in Korea : a case study of *Quercus mongolica* and *Q. variabilis* stands. Kangwon National University Press. 142~143
- Son YH and Kim HW. 1996. Soil Respiration in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* Plantations. Jour. Korean For. Soc. 85(3) : 496~505
- Vitousek, P. M. and R. W. Howarth. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? Biogeochemistry 13, 87-115
- Yi MJ. 2003. Evolution in *Quercus variabilis* and *Q. mongolica* Forests in Chunchon, Kangwon Province. Korean For. Soc. 92(3) : 263~269

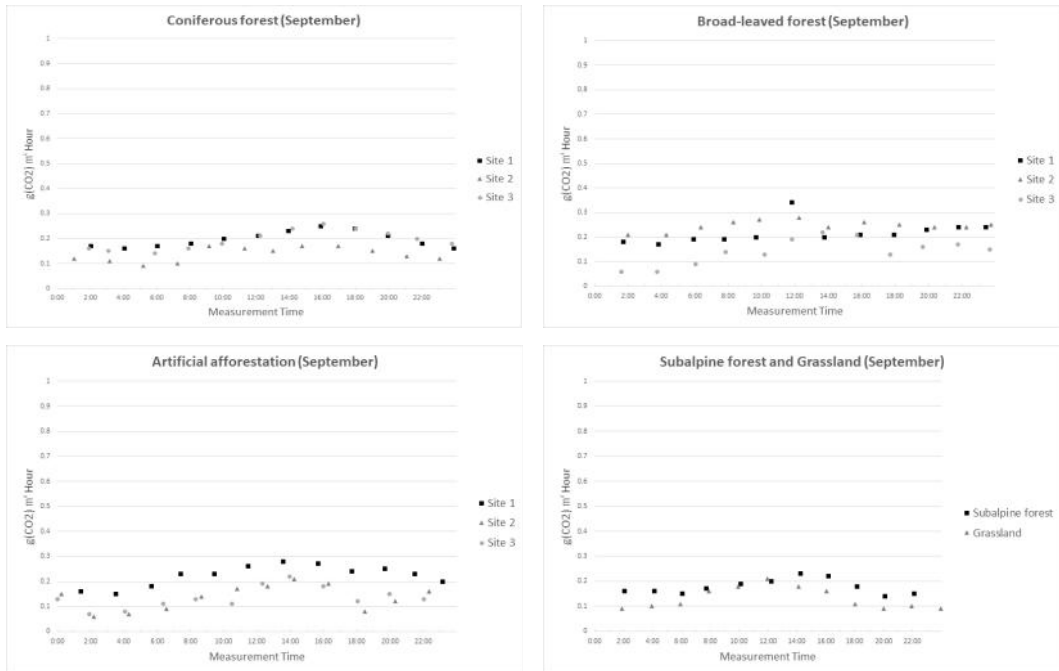


**Appendix 1.** A results of soil microbial respiration by time of May



**Appendix 2.** A results of soil microbial respiration by time of Jul.



**Appendix 3.** A results of soil microbial respiration by time of Sep.**Appendix 4.** A results of soil microbial respiration by time of Nov.