

난대 상록활엽수림과 곰솔림 임분 특성 및 NVOCs 발산 특성¹

김광일² · 김상미^{3*} · 박인택⁴ · 이계한⁵ · 오득실⁶

Stand Characteristics and NVOCs Emission Characteristics in Warm Temperate Evergreen Broadleaf Forests and *Pinus thunbergii* Forest¹

Gwang-Il Kim², Sang-Mi Kim^{3*}, In-Teak Park⁴, Kye-Han Lee⁵, Deuk-Sil Oh⁶

요약

본 연구는 주요 난대 상록활엽수종인 붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무, 황칠나무 등 4종 임분과 곰솔림을 대상으로 2019년 5월~2020년 1월까지 각 산림의 임분 특성 및 NVOCs 발산특성을 알아보고자 수행되었다. 분석 결과, 각 조사구의 계절별 기온 및 습도는 여름철에 고온다습하고 겨울철 저온건조한 일반적 우리나라의 기후적 특성을 보였고 기압은 대체적으로 겨울이 높았으며 봄, 여름보다 가을과 겨울의 기압이 높았다. 조사구 5개소의 총 NVOCs는 전체적으로 여름철에 가장 높았으며 봄, 겨울은 황칠나무림, 가을은 구실잣밤나무림, 여름은 붉가시나무림의 NVOCs량이 상대적으로 높은 특성을 보였다. 수종별로 살펴보면, 침엽수종인 곰솔림보다 난대 상록활엽수종인 붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무, 황칠나무의 NVOCs 발산량이 낮지 않거나 오히려 높은 것을 확인하였다. NVOCs 발산에 기온($r=0.590$, $P=0.000$), 습도($r=0.655$, $P=0.000$)는 양(+의 상관관계, 기압($r=-0.384$, $P=0.000$)과 풍속($r=-0.263$, $P=0.018$)은 낮은 음(-)의 영향이 있었다. 미기상인자 중 습도($\beta=0.507$, $P=0.000$)가 NVOC 발산량에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며 기온, 기압, 풍속 순으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

주요어: 난대림, 난대림 토양특성, 기후변화, 휘발성유기화합물, 난대림 테르펜

ABSTRACT

This study investigated each forest's stand characteristics and the NVOCs emission characteristics for *Quercus acuta*, *Castanopsis sieboldii*, *Dendropanax trifidus*, *Camellia Japonica* which are major warm temperate evergreen broad-leaved species, and *Pinus thunbergii*. Data were collected from May 2019 to January 2020. The seasonal temperature and humidity of each research site indicated the typical climatic characteristics of Korea, which are hot and humid in summer and cold and dry in winter. Also, the atmospheric pressure was generally high in winter and higher in autumn and winter than in spring and summer. Overall, the

1 접수 2022년 2월 9일, 수정 (1차: 2022년 4월 27일, 2차: 2022년 6월 7일), 게재확정 2022년 6월 15일
Received 9 February 2022; Revised (1st: 27 April 2022 2nd: 7 June 2022); Accepted 15 June 2022

2 전라남도산림자원연구소 녹지연구소 Jeollanam-Do Research Institute of Forest Resources, Naju 58213, Korea

3 전라남도산림자원연구소 박사후연구원 Jeollanam-Do Research Institute of Forest Resources, Naju 58213, Korea

4 전라남도산림자원연구소 연구원 Jeollanam-Do Research Institute of Forest Resources, Naju 58213, Korea

5 전남대학교 농생대 산림자원학과 교수 Dept. of Forestry, Chonnam National Univ., Gwang-ju 61186, Korea

6 전라남도산림자원연구소 녹지연구소 Jeollanam-Do Research Institute of Forest Resources, Naju 58213, Korea

* 교신저자 Corresponding author: qbicq32@korea.kr

total volume of NVOCs (Natural Volatile Organic Compounds) from the five research sites was the highest in the summer. The concentration of TNVOCs was relatively high in the *Dendropanax trifidus* forest in spring and winter, the *Castanopsis sieboldii* forest in the autumn, and the *Quercus acuta* forest in the summer. According to the results of this study, it was confirmed that the concentrations of NVOCs emission of warm temperate evergreen broad-leaved species such as *Quercus acuta*, *Castanopsis sieboldii*, *Dendropanax trifidus* and *Camellia Japonica* were not lower but rather higher than *Pinus thunbergii*.

The correlation was positive (+) between NVOCs emission and temperature ($r=0.590$, $P=0.000$) or humidity ($r=0.655$, $P=0.000$), whereas it was negative (-) between NVOCs emission and atmospheric pressure ($r=-0.384$, $P=0.000$) or wind speed ($r=-0.263$, $P=0.018$). Among the micrometeorological factors, humidity ($\beta=0.507$, $P=0.000$) was found to have the greatest effect on NVOC emission, followed by temperature, atmospheric pressure, and wind speed.

KEY WORDS: WARM TEMPERATE FOREST, SOIL CHARACTERISTICS OF WARM TEMPERATE FOREST, CLIMATE CHANGE, VOLATILE ORGANIC COMPOUND, TERPENE OF WARM TEMPERATE FOREST

서론

우리나라의 연평균기온은 지난 100여년간 10년 단위로 0.18℃ 상승하였으며, 장기적인 기온상승 경향은 겨울과 봄의 변화가 가장 뚜렷하다. 또한 계절 시작일은 봄은 13일, 여름은 10일 빨라지고, 가을과 겨울에는 각각 9일, 5일이 늦어져 여름은 길어지고 겨울은 짧아지는 것으로 관측되었다(National Institute of Meteorological Sciences, 2018). 전 지구 평균기온은 21세기 말 온실가스의 배출 정도에 따라 현재 대비 1.9~5.2℃ 상승할 것으로 예측되었으며, 우리나라를 포함한 동아시아 평균기온 변화 또한 전지구적 변화 경향과 유사할 것으로 추정된다(National Institute of Meteorological Sciences, 2019). 이러한 기후변화에 대한 전망이 다수 보고되면서 다양한 생물들의 서식지의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되었다(Park *et al.*, 2010; Yoon *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012; Hwang *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2016).

한국기후변화평가보고서(2020)에 따르면 우리나라의 주요 활엽수림인 참나무류보다 소나무, 일본잎갈나무 등과 같은 침엽수림이 기후변화에 취약할 것으로 분석 되었으며 상대적으로 기온증가량이 높을 것으로 예상되는 남부 해안가에서 침엽수림의 생장 취약성이 높을 것으로 예측되고 있다. 실제 우리나라 산림면적은 국토의 63.5%인 6,371천ha로 침엽수림 2,339천ha, 활엽수림 1,719천ha, 혼효림 1,865천ha로 침엽수림과 혼효림은 감소하고 활엽수림은 증가하고 있다(Korea Forest Service, 2019). 우리나라의 온량지수는 최근 20년 동안 과거 20년에 비해 상승(평균 2.6

5℃·month)하였고, 난온대 상록활엽수림대의 면적은 과거 20년에 비해 최근 20년간 약 2.7배 증가하여, 최근 한반도의 기후변화는 난온대 상록활엽수림의 분포면적을 확대시킨 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2010).

미래 기후변화에 대한 전망이 지속적으로 다수 보고되면서 산림의 기후변화 영향을 평가하고, 미래 난대수종의 생육적지 예측모델 개발 등 관련 연구들도 활발하게 진행 중이다(Yoon *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012; Hwang *et al.*, 2015). 이러한 연구결과에 따라 미래 난대수종의 중요성은 계속 증가하고 있는 실정이다.

VOC(Volatile organic compound)라고 불리는 휘발성 유기화합물은 많은 종류가 존재하며 자연 및 인위적 발생원에서 대기 중으로 배출되는 물질이다(Allen and Ian, 2007). 자연 발생 VOC의 주요 배출원은 식생이며 주요 물질로 모노테르펜과 이소프렌 등이 있다(Harrison *et al.*, 2001). 인위적 주요 배출원은 자동차 등 산업시설이며(Kim, 2006), 주요물질로 Toluene, Ethyl benzene 등이 있다. 인위적 발생원에서 기원하는 AVOC(Antropogenic Volatile Organic Compound)는 인체에 직접적으로 유해성이 큰 반면, NVOC(Natural Volatile Organic Compound)는 외부로 유출되어 햇빛과 NOx와 만나 오존생성 등 간접적으로 유해성을 보이나(Kim, 2006) 실내공간이나 산림내부에서는 피톤치드와 같은 산림의 유익한 물질로 인식되고 있기도 하다.

이러한 NVOC는 여러 연구를 통해 스트레스 완화, 심신 안정 등 인체에 다양한 건강증진 효과를 주는 물질로써 보고되고 있다(Mishra and Dubey, 1994; Lee *et al.*, 2001; Kang *et al.*, 2007; Kim and Kim, 2010; Lee and Lee,

2012). 또한 피톤치드의 주성분인 테르펜 등의 추출을 통한 천연 추출물질의 항균효과 등 다양한 효능을 이용하여 기능성 물질로서의 이용이 크게 증가하고 있으며 생활용 소취제 품, 여드름치료제 등으로 이용가능성이 높다(Kim and Kim, 2010). 이와 함께 산림청에서는 치유의 숲 타당성 평가를 위해 「자연휴양림 등 타당성 평가의 세부기준(산림청 고시 제2018-71호)에 따라 산림내 피톤치드 농도를 평가하고 있다.

모든 식물은 항균성 물질을 갖고 있고 어떠한 형태로든 NVOCs를 발산한다고(Kim and Kim, 2010) 알려져 있는 것에 비해 NVOCs에 대한 연구는 편백, 소나무를 중심으로 한 침엽수종에 초점이 맞추어져 있으며(Ji *et al.*, 2002; Kang and Kim, 2012; Kim *et al.*, 2017; Jo *et al.*, 2018) 활엽수종 특히 기후변화로 인해 그 중요성과 연구의 필요성이 대두되고 있는 난대수종 임상의 NVOCs 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 주요 난대수종 임분을 대상으로 계절별로 산림에서 발생하는 NVOCs의 포집 및 분석을 실시하였으며 이와 함께 NVOCs 발산에 영향을 미치는 인자들을 규명함으로써 NVOCs의 계절적 변화 및 난대수종 임분에서 생성되는 주요 NVOCs의 특성 등을 파악하고자 수행되었다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구를 위해 전라남도에 주로 분포하는 난대수종 중 각 수종이 우점하는 군락지의 유무, NVOC를 포집할 수 있는 측정기의 설치 및 식생조사를 위한 표준지 면적(20m*20m) 등을 고려하여 선정하였다. 그 결과 주요 난대 상록활엽수종으로 붉가시나무(*Quercus acuta*), 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*), 황칠나무(*Dendropanax trifidus*), 동백나무(*Camellia Japonica*) 4개소 및 NVOC 배출량이 많은 것으로 알려진 침엽수종 중 곰솔(*Pinus thunbergii*) 1개소로 총 5개소를 지정하였다.

우점종은 특정 군집 내에서 다른 종들보다 공간적 또는 양적인 면에서 더 많은 비율을 차지하고 있는 종으로 각각의 조사대상지는 각 수종이 70% 이상 우점하는 군락지이다. 조사대상지는 우리나라 남단에 위치한 완도(붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무, 곰솔)와 장흥(황칠나무)에서 실시되었다(Figure 1). 2대상지는 각각의 우점종이 넓은 면적에 분포하고 있으며 붉가시나무림과 구실잣밤나무림의 주변 식생은 여러 난대상록활엽수 등으로 이루어져 있고 동백나무림과 황칠나무림은 대면적의 조림지이다. 또한 곰

솔은 해안가에 단독군락을 이루고 있어 주변에 다른 식생의 군락은 존재하지 않는다.

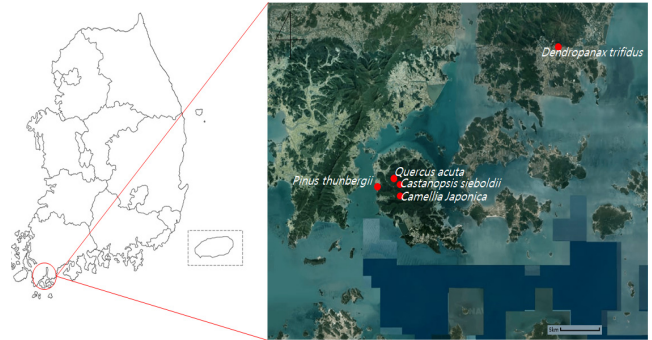


Figure 1. Research Site.

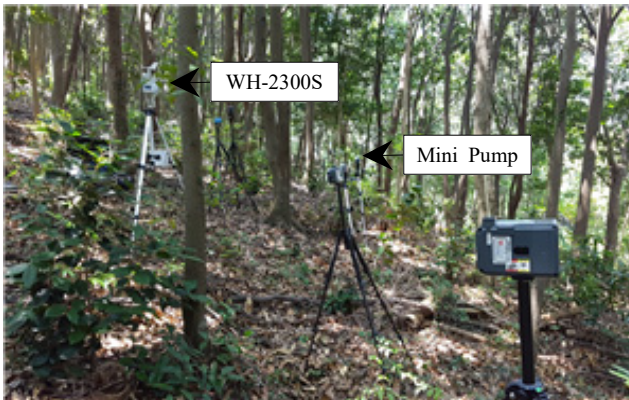
2. 조사항목 및 측정방법

1) NVOCs

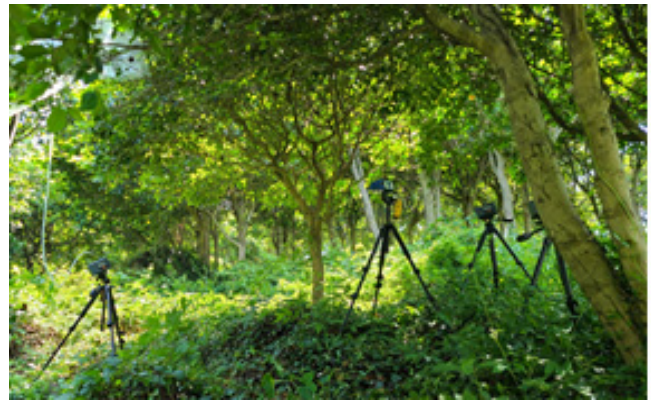
식물은 개엽, 개화, 결실 등 생리적 변화에 따라 또는 자신을 보호하기 위해 NVOC를 발산한다. 본 연구에서는 난대 상록활엽수림 4개소 및 곰솔림에서 발산하는 NVOCs의 계절적 특성을 확인하기 위해 2019년 5월, 8월, 10월, 2020년 1월 각 대상지별 4회씩 총 80회의 조사를 실시하였다(Table 1). 시료포집을 위해 휘발성물질의 흡착이 용이한 것으로 알려진 Tenax-TA를 충전한 Stainless Sample Tube를 대기 환경 VOCs 휴대용 에어샘플러인 MP-Σ30KN II Mini pump에 삽입하여 총 12L의 산림내 공기를 포집하였다. 또한, 조사는 대상지별, 계절별로 9시부터 17시까지 포집을 진행하였으며 데이터의 신뢰도를 위해 포집은 3개의 펌프로(N=240) 동시 측정하였다(Figure 2).

Table 1. Measurement date and research sites

Date	Site	Date	Site
2019. 5.21.	<i>Dendropanax trifidus</i>	2019. 10.17.	<i>Camellia japonica</i> , <i>Pinus thunbergii</i>
2019. 5.23.	<i>Quercus acuta</i> , <i>Castanopsis sieboldii</i>	2019. 10.22.	<i>Dendropanax trifidus</i>
2019. 5.24.	<i>Camellia japonica</i> , <i>Pinus thunbergii</i>	2019. 10.25.	<i>Quercus acuta</i> , <i>Castanopsis sieboldii</i>
2019. 8.13.	<i>Camellia japonica</i> , <i>Pinus thunbergii</i>	2020. 1.10.	<i>Dendropanax trifidus</i>
2019. 8.14.	<i>Dendropanax trifidus</i>	2020. 1.14.	<i>Camellia japonica</i> , <i>Pinus thunbergii</i>
2019. 8.16.	<i>Quercus acuta</i> , <i>Castanopsis sieboldii</i>	2020. 1.15.	<i>Quercus acuta</i> , <i>Castanopsis sieboldii</i>



Quercus acuta site



Camellia japonica site

Figure 2. Field measurement in research site.

2) 미기상인자

NVOC는 일반적으로 기온, 습도, 풍속 등 환경인자에 따라 변화를 보이는 것으로 알려져 있으며, 이는 식물의 생장에 가장 영향을 미치는 인자들로서 미기상인자와 NVOCs와의 관계를 확인하는 것이 중요하다. 따라서 NVOCs포집시 대상지의 국지적 환경인자를 확인하기 위해 RS485출력을 적용한 다항목측정기 WH-2300S를 활용하여 5분 간격으로 기온, 습도, 기압, 풍속, 풍향 등을 기록하여 분석하였다. 측정장비는 평균적으로 사람의 호흡기관이 위치하고 있는 지표면에서 1.3~1.6m 높이에 설치하였다(Figure 2).

3) 토양성분

식물 생장에 주요한 영향을 미치는 인자로서 각 조사지별 토양 특성을 확인하기 위해 표준지내 3개소에서 토양을 채취한 뒤 한국임업진흥원에 시험분석을 의뢰하였다. pH, 유기물, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성염기(K, Na, Ca, Mg) 4종, 전기전도도 등 총 10가지 항목에 대한 분석을 실시하였다.

3. NVOCs 분석

식물로부터 발산되는 NVOC의 종류는 수십 가지에 이를 만큼 다양하다. 본 연구에서는 예비조사를 통해 확인한 NVOCs중 지속적으로 안정되게 분석된 17종을 대상으로 하였다(Table 2). 포집된 시료는 ATD(Auto Thermal Desorber)가 장착된 GC/MS(Gas Chromatography/Mass Selective detector)를 활용하여 정성 및 정량분석하였다. 조건은 Table 3과 같다. 컬럼은 Rxi-5ms를 사용하였으며 검량선 작성을 위해 SIGMA Aldrich(USA)의 표준물질을 사용하였다. 검량선 작성결과 표준물질 모두 $0.95 \leq R \leq 0.99$ 로 양호한 것으로 나타났다.

Table 2. List of Measurement NVOCs

No.	Compounds	No.	Compounds	No.	Compounds
1	α -Pinene	7	α -Terpinene	13	α -Terpinolene
2	Camphene	8	p-Cymene	14	Linalool
3	β -Pinene	9	δ -Limonene	15	Camphor
4	Myrcene	10	Eucalyptol	16	Borneol
5	Phellandrene	11	γ -Terpinene	17	Menthol
6	3-Carene	12	Sabinene		

Table 3. GC-MS/ATD conditions

GC-MS condition			
Column	Rxi-5MS(60m×0.25mm×0.25 μ m)		
	Rate (°C/min)	Temperature (°C)	Hold Time(min)
Oven	-	30	5
	5	90	0
	2	150	3
Injection Temp.	250°C		
interface Temp.	250°C		
Ion Source Temp.	200°C		
Mass Range	m/z 40~500		
ATD condition			
Column flow	1ml/min	High Temp.	270°C
Desorb flow	50ml/min	Rate	40°C/sec
Valve Temp.	200°C	Inlet flow	20ml/min
Transferline Temp.	240°C	Outlet flow	20ml/min
Low Temp.	-30°C	Tube Temp.	250°C

결과 및 고찰

1. 조사지별 임분 특성

1) 붉가시나무(*Quercus acuta*)림

참나무과의 상록활엽교목으로 전라남도, 제주도 등 난대림지역에 주로 분포하며, 높이 20m, 직경 60cm까지 자라는 난대수종이다(National Species Information System, 2022). 조사대상지는 붉가시나무가 70% 이상 우점하는 군락지로서 교목의 밀도가 높았으며 평균수고 19m, 평균흉고직경 16cm, 사면방위는 북서사면, 해발고도 177m로 나타났다(Table 4, Figure 1).

2) 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*)림

참나무과의 상록활엽교목으로 전라남도, 제주도 등 주로 해안지대에 분포하나 내한성이 다소 강해 일부 내륙지방에서도 자라며, 높이 15m, 직경 60cm까지 자라는 난대수종이다(National Species Information System, 2022). 조사대상지는 구실잣밤나무가 70% 이상 우점하며 교목 밀도가 높은 구조를 나타내고 있다. 평균수고 11m, 평균흉고직경 14cm이며, 사면방위는 동사면, 해발고도 176m이다(Table 4, Figure 1).

3) 황칠나무(*Dendropanax trifidus*)림

두릅나무과의 상록활엽교목으로 남부 지방의 해변과 도서지방에서 자생하며 제주도에서는 표고 700m까지 분포하

는 난대수종이다(National Species Information System, 2022). 특히 황칠나무는 한국 특산식물로 염료 등으로 이용 가치가 높은 수종이다(Bernart *et al.*, 1996). 조사대상지는 황칠나무가 100%를 차지하는 인공조림지이며 하층식생이 들어서지 못할만큼 교목층의 밀도가 높았다. 평균수고 7m, 평균흉고직경 12cm이며, 해발고도 27m의 평탄지에 위치하고 있다(Table 4, Figure 1).



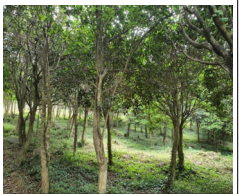
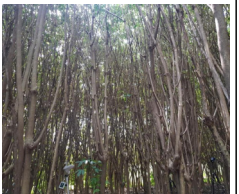

4) 동백나무(*Camellia japonica*)림

높이 7m 정도의 차나무과 상록활엽소교목으로 제주도, 울릉도, 남해 및 서해안 도서지방에 분포하고 있으며 국가 기후변화 생물지표종 100종에 포함되어 관리되고 있다(National Species Information System, 2022; National Institute of Biological Resources, 2019). 조사대상지는 동백나무 100%의 자생 및 조림지이며 수목밀도가 높은 구조이다. 평균수고 5m, 평균흉고직경 12cm, 사면방위는 북동사면, 해발고도 197m이다(Table 4, Figure 1).

5) 곰솔(*Pinus thunbergii*)림

소나무과의 상록침엽교목으로 중남부의 섬, 해안가의 산지 등 해발 1,400m 이하의 해안가 또는 섬에 주로 분포하는 수종이다(National Species Information System, 2022). 조사대상지는 곰솔이 70% 이상으로 평균수고 17m, 평균흉고직경 28cm, 해발고도 9m의 평탄지에 위치하고 있으며 해안가에 분포하고 있다(Table 4, Figure 1).

Table 4. Characteristics of the site to be investigated

Forest ¹	Q.a	C.s	D.t	C.j	P.t
GPS coordinate	34.35730/ 126.67365	34.35524/ 126.67192	34.50755/ 126.90940	34.34616/ 126.66956	34.37142/ 126.64406
Height above sea level(m)	177	176	27	197	9
Slope direction	NW	E	Plane	NE	Plane
D.B.H (cm)	$\frac{16}{8-24}$	$\frac{14}{6-26}$	$\frac{12}{8-18}$	$\frac{12}{8-14}$	$\frac{28}{8-50}$
Height (m)	$\frac{19}{10-23}$	$\frac{11}{5-15}$	$\frac{5}{3-7}$	$\frac{7}{6-9}$	$\frac{17}{5-26}$
Panoramic View					

¹Q.a: *Quercus acuta*, C.s: *Castanopsis sieboldii*, D.t: *Dendropanax trifidus*, C.j: *Camellia japonica*, P.t: *Pinus thunbergii*

2. 계절에 따른 미기상인자

다항목측정기 WH-2300S로 측정한 조사대상지별 미기상인자를 살펴보면, 난대 상록활엽수림 4개소 및 곰솔림의 국지적 계절별 평균기온은 여름철이 가장 높았으며 봄, 가을, 겨울 순이었다(Table 5). 습도 또한 여름철에 가장 높았으며 봄, 가을, 겨울 순으로 확인되었다. 각 조사구에서의 계절에 따른 기온 및 습도는 여름철에 고온다습하고 겨울철에 저온건조한 일반적인 우리나라의 기후적 특성을 보였으나 계절별 조사당일 평균기온이 2~10℃ 높은 것으로 나타났다. 조사지에서의 기압은 대체적으로 겨울이 높았으며 봄, 여름보다 가을과 겨울의 기압이 높은 것으로 측정되었다(Table 5).

Table 5. Micrometeorological Factors by seasons

forest ¹	season	Temperature (°C)	Humidity (%)	Atmospheric Pressure (hpa)	Wind velocity (m/sec)
		Mean(SD)	Mean(SD)	Mean(SD)	Mean(SD)
Q.a	spring	21.31(0.91)	64.70(2.52)	992.09(0.52)	0.304(0.43)
	summer	26.49(0.47)	80.88(1.50)	991.04(0.55)	0.992(0.39)
	autumn	11.33(0.88)	56.14(3.14)	1000.64(1.14)	4.427(2.71)
	winter	4.13(1.64)	37.23(5.48)	1009.45(0.95)	2.242(1.09)
C.s	spring	21.31(0.91)	64.70(2.52)	992.09(0.52)	0.304(0.43)
	summer	24.30(0.34)	84.51(2.93)	992.34(0.28)	0.296(0.27)
	autumn	18.75(1.32)	74.30(5.89)	1002.51(2.71)	0.321(0.12)
	winter	2.91(0.96)	54.38(3.99)	1008.31(1.13)	0.221(0.34)
D.t	spring	21.34(0.62)	80.94(1.20)	978.24(0.73)	0.000(0.00)
	summer	31.80(0.83)	76.11(2.39)	995.79(1.33)	0.214(0.53)
	autumn	21.80(0.98)	61.61(4.94)	1013.58(0.64)	0.666(1.03)
	winter	7.50(2.00)	44.84(7.24)	1019.98(1.41)	0.004(0.01)
C.j	spring	24.04(1.28)	53.46(4.33)	993.18(0.53)	0.146(0.13)
	summer	29.74(0.74)	78.59(3.12)	982.44(0.57)	0.096(0.38)
	autumn	20.79(1.49)	55.49(5.09)	1025.03(1.36)	1.726(2.15)
	winter	7.29(1.11)	81.03(5.66)	993.26(1.03)	0.221(0.04)
P.t	spring	24.04(1.28)	53.46(4.33)	993.18(0.53)	0.179(0.11)
	summer	27.96(0.89)	80.21(3.69)	999.35(0.36)	0.717(1.24)
	autumn	15.88(1.17)	59.83(6.01)	1021.35(0.86)	0.611(1.11)
	winter	4.29(1.03)	50.239(3.15)	1025.79(0.57)	0.204(0.22)

¹Q.a: *Quercus acuta*, C.s: *Castanopsis sieboldii*, D.t: *Dendropanax trifidus*, C.j: *Camellia japonica*, P.t: *Pinus thunbergii*

3. 입분별 토양 특성

난대 상록활엽수림 4개소와 곰솔림에서의 토양시료 채취 후 분석한 결과는 Table 6과 같다. 토양 pH와 EC는 가장 기본적인 산림토양진단 항목 중 하나로써 산림토양의 적정

pH는 5.0~6.0이다. 강산성은 뿌리의 작용을 저해하며 양분 흡수를 막아 결핍증을 일으키거나 망간, 철, 구리 등의 미량 원소를 잘 녹아 나오게 하는 등의 과잉증을 일으키는 경우도 있다. 반대로 토양이 알칼리화 되면 미량원소가 잘 흡수되지 않아 결핍증을 일으킨다. EC는 일반적으로 토양 속 염류농도의 지표로 사용되며 0.4dS/m 이상이면 수목의 생장을 저해할 수 있다(National Institute of Forest Sciences, 2013).

각 조사구별 평균 pH는 붉가시나무림 5.1, 구실잣밤나무림 5.1, 황칠나무림 5.5, 동백나무림 5.8, 곰솔림 6.5였으며 EC는 붉가시나무림 0.27dS/m, 구실잣밤나무림 0.28dS/m, 황칠나무림 0.26dS/m, 동백나무림 0.37dS/m, 곰솔림 0.50 dS/m로 나타났다(Table 6, Figure 3). 유기물함량(OM)의 경우 붉가시나무림 4.24%, 구실잣밤나무림 5.95%, 황칠나무림 1.79%, 동백나무림 5.95%, 곰솔림 4.61%였으며 전질소(TN)는 붉가시나무림 0.18%, 구실잣밤나무림 0.25%, 황칠나무림 0.14%, 동백나무림 0.33%, 곰솔림 0.24%로 분석되었다.

또한, 유효인산(P2O5)은 붉가시나무림 29.93mg·kg⁻¹, 구실잣밤나무림 29.63 mg·kg⁻¹, 황칠나무림 1,112.93mg·kg⁻¹, 동백나무림 39.10mg·kg⁻¹, 곰솔림 71.37mg·kg⁻¹이었다. 양이온치환용량은 붉가시나무림 11.42cmolc·kg⁻¹, 구실잣밤나무림 12.61cmolc·kg⁻¹, 황칠나무림 9.63cmolc·kg⁻¹, 동백나무림 13.30 cmolc·kg⁻¹, 곰솔림 10.71cmolc·kg⁻¹로 나타났다.

토양산도의 경우 곰솔림을 제외한 난대 상록활엽수림 4개소는 산성(5.0~5.5)~약산성(5.5~6.0)이었으며 곰솔림은 미산성(6.0~6.5)~중성(6.5~7.0)의 범위를 보였다. 또한, EC 값은 난대 상록활엽수림 4개소의 경우 일반적인 산림토양의 적정수준 범위로 나타났으나 pH와 마찬가지로 곰솔림의 경우 식물 생육에 영향을 미치는 임계값인 0.4dS/m 이상으로 나타나 많은 염류로 인하여 식물생육을 저해할 수 있는 원인이 될 수 있을 것으로 사료된다.

인산은 개화와 결실을 좋게 하는 성분으로 전인산은 토양 속에 대량으로 존재하나 인산분의 대부분이 토양에 고정되어 있어 식물이 이용 가능한 유효인산은 적다고 알려져 있다(National Institute of Forest Sciences, 2013). 대부분의 조사구에서 유효인산 함량은 적정수준을 보였으나 황칠나무림에서는 과잉으로 나타났는데 이는 다른 식생이 들어오지 못할만큼 뽕뽕하게 높은 밀도의 구조와 경작토양을 개량하여 조성된 균락지로 인산비료의 과잉축적이 원인일 것으로 보인다. 또한 양이온치환용량(CEC)은 일정량의 토양이 가지고 있는 치환성 양이온들과 같은 양이온을 교환할 수 있는 능력으로서 이 값이 클수록 염기류의 유지 능력이 높다(National Institute of Forest Sciences, 2013). 5개소 조사

Table 6. Soil characteristics by season

Forest	Season	Soil ingredients									
		pH	EC (dS/m ⁻¹)	OM (%)	TN (%)	P2O5 (mg·kg ⁻¹)	CEC (cmol _c ·kg ⁻¹)	Exchangeable bases (cmol _c ·kg ⁻¹)			
								K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
<i>Quercus acuta</i>	spring	5.2	0.12	3.55	0.187	14.3	8.80	0.15	0.16	0.39	0.54
	summer	5.1	0.54	3.75	0.141	41.1	12.69	0.06	0.09	0.38	0.25
	autumn	5.0	0.15	5.42	0.215	34.4	12.76	0.11	0.07	0.23	0.29
	Mean	5.1	0.27	4.24	0.18	29.93	11.42	0.11	0.11	0.33	0.36
<i>Castanopsis sieboldii</i>	spring	4.9	0.32	6.95	0.289	20.9	12.76	0.2	0.18	0.24	0.31
	summer	5.2	0.29	5.489	0.200	33.6	13.20	0.09	0.13	0.49	0.63
	autumn	5.2	0.23	5.412	0.248	34.4	11.88	0.19	0.21	0.5	0.74
	Mean	5.1	0.28	5.95	0.25	29.63	12.61	0.16	0.17	0.41	0.56
<i>Dendropanax trifidus</i>	spring	5.3	0.20	1.6	0.143	531.9	8.29	0.77	0.08	1.99	1.03
	summer	5.5	0.31	2.396	0.148	1,290.0	11.59	0.64	0.05	1.46	0.99
	autumn	5.8	0.27	1.388	0.126	1,516.9	9.02	0.99	0.05	3.07	1.59
	Mean	5.5	0.26	1.79	0.14	1,112.93	9.63	0.80	0.06	2.17	1.20
<i>Camellia japonica</i>	spring	6.1	0.26	7.66	0.431	17.3	13.79	0.81	0.16	6.41	1.69
	summer	5.6	0.56	4.74	0.243	59.3	12.39	0.72	0.13	3.52	1.06
	autumn	5.8	0.28	5.445	0.315	40.7	13.71	1.22	0.10	4.99	1.26
	Mean	5.8	0.37	5.95	0.33	39.10	13.30	0.92	0.13	4.97	1.34
<i>Pinus thunbergii</i>	spring	6.4	0.4	4.87	0.268	31.8	9.53	0.49	0.35	7.15	2.05
	summer	6.9	0.79	4.575	0.207	112.2	12.32	0.47	0.11	10.28	1.54
	autumn	6.1	0.30	4.381	0.237	70.1	10.27	0.45	0.13	5.94	1.81
	Mean	6.5	0.50	4.61	0.24	71.37	10.71	0.47	0.20	7.79	1.80

구의 양이온치환용량 값은 일반적인 갈색산림토양의 범위를 보였다. 특정목적 외에 시비 등 토양관리를 하지 않는 산림토양의 특성상 각 조사구의 계절별 토양성질은 큰 변화가 없는 것으로 확인되었다(Table 6).

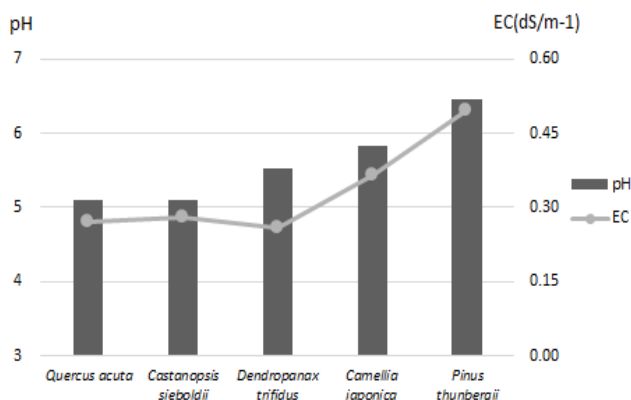


Figure 3. pH and EC status by site.

4. 계절별 NVOCs(Natural Volatile Organic Compounds) 발산량

난대 상록활엽수림 4개소 및 곰솔림의 총 NVOCs를 살펴본 결과, 수중에 따라 검출량의 차이는 있지만 전체적으로 여름철에 가장 높았으며(Figure 4, Figure 5, Table 7) 계절에 따른 농도 경향은 다수의 연구결과(Yatagai *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2013; Jo *et al.*, 2018; National Institute of Forest Sciences, 2018; National Center for Forest Therapy, 2019)에서와 같이 본 연구에서도 유사하게 나타났다. 여름철은 다른 계절보다 기온과 습도가 높아 수목의 생리활성이 활발하여 수목활력도도 높게 나타나며 이에 따라 NVOCs 또한 높은 농도를 나타내는 것으로 판단된다.

각 조사구에 따른 계절별 TNVOCs는 봄에는 황칠나무림(740.70pptv)이 가장 높은 값을 보였고, 붉가시나무림(473.91pptv), 구실잣밤나무림(379.36pptv), 곰솔림(363.55 pptv), 동백나무림(320.31pptv)순으로 높게 나타났다. 여름

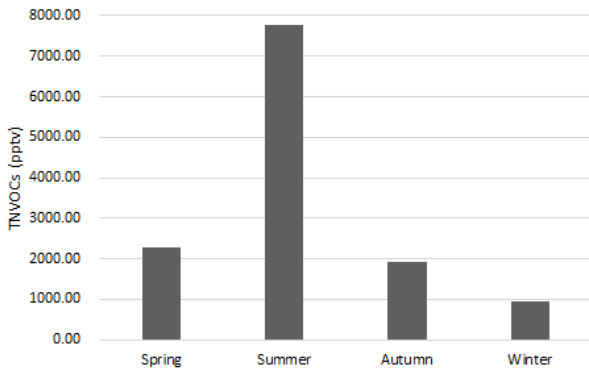


Figure 4. TNVOCs by four seasons.

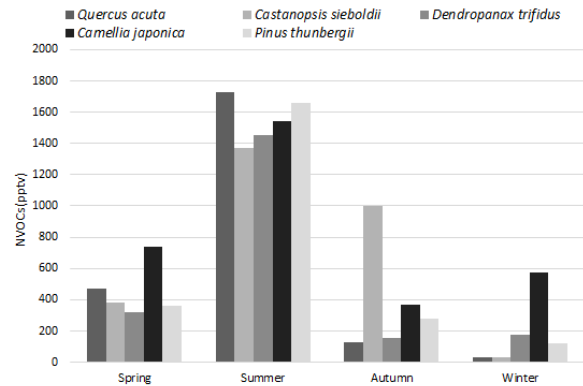


Figure 5. TNVOCs of research site by four seasons.

은 붉가시나무림(1,730.31pptv), 곰솔림(1,659.13pptv), 황칠나무림(1,544.92pptv), 동백나무림(1,451.85pptv), 구실잣밤나무림(1,372.62pptv)순으로 높게 나타났으며 가을은 구실잣밤나무림(996.80 pptv), 황칠나무림(367.80pptv), 곰솔림(280.47pptv), 동백나무림(157.02pptv), 붉가시나무림(130.6pptv)순으로 분석되었다. 겨울은 황칠나무림(572.08 pptv), 동백나무림(178.94pptv), 곰솔림(121.69pptv), 구실잣밤나무림(32.37pptv), 붉가시나무림(29.13pptv)순으로 나타났다(Figure 5).

즉, 각 조사구별로 봄, 겨울은 황칠나무림, 가을은 구실잣밤나무림, 여름은 붉가시나무림의 NVOCs량이 상대적으로 높은 특성을 보였다. 또한, 계절에 따른 NVOCs 발산량에 차이가 있는지를 비교한 결과, 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(P=0.000). 여름(평균: 387.94, 표준편차: 83.93)의 NVOCs 량은 봄, 가을, 겨울보다 높았으며 봄, 가을, 겨울의 NVOCs 발산량에는 정도에 차이가 없었다(Table 7).

Table 7. NVOCs by seasons

Var.	Season				F-Value ²	P
	Spring	Summer	Autumn	Winter		
NVOCs ¹	mean (SD)	mean (SD)	mean (SD)	mean (SD)	55.756***	0.000
(pptv)	103.97 ^a (61.04)	387.94 ^b (83.93)	96.64 ^{ac} (132.90)	46.71 ^{acd} (77.28)		

¹Total NVOCs emissions

²ANOVA ***p<0.001

^{abcd}Different alphabet letters represent statistically significant differences between groups (p<0.001)

5. NVOCs 성분별 발산특성

봄철에 가장 높게 검출된 성분은 α-pinene(702.92pptv), β-pinene(415.55pptv), Eucalyptol(221.02pptv), Linalool(190.49

pptv), Menthol(180.46pptv) 순이고, 여름철은 α-pinene (3,047.07pptv), β-pinene(1,784.69pptv), Eucalyptol (509.36 pptv), Camphene(453.68pptv), Cymene(440.59pptv), 가을철은 α-pinene(400.08pptv), β-pinene(285.60pptv), Menthol(271.65 pptv), Borneol (218.64pptv), Linalool(138.84pptv), 겨울철은 Camphene(187.88pptv), Menthol(165.75pptv), Borneol (117.85 pptv), Camphor(114.86pptv), α-pinene (72.86pptv) 순으로 높게 나타났다. 겨울을 제외한 봄, 여름, 가을 모두 α-pinene, β-pinene이 가장 높게 검출되었으며 특히 α-pinene은 전체 검출량의 33%를 차지하였다(Figure 6).

계절에 따른 성분별 특성은 개엽, 개화, 결실 및 환경적 영향에 따른 것으로 사료되며 수목의 생리적 변화에 따른 NVOCs 성분별 기작에 대한 보다 심층적이며 체계적인 조사가 필요하다.

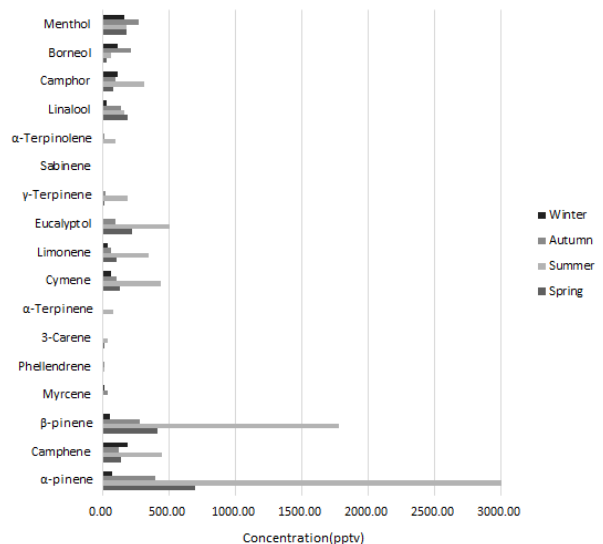


Figure 6. Characteristic of NVOCs component by four seasons.

6. NVOCs 발산과 미기상인자 간 관계

계절별 NVOCs 전체 발산량과 미기상인자들간의 상관관계를 분석한 결과, NVOCs 발산은 기온($r=0.590$, $P=0.000$), 습도($r=0.655$, $P=0.000$)와는 양의 상관관계를 나타냈으며 기압($r=-0.384$, $P=0.000$)과 풍속($r=-0.263$, $P=0.018$)과는 낮은 음의 상관관계를 가지고 있었다(Table 8). 기존 NVOCs 관련 대부분의 연구들과 마찬가지로 본 연구 또한 같은 경향을 보이는 것으로 확인되었다. 풍향과는 관계가 없는 것으로 나타났다.

Table 8. Correlation of NVOCs and Micrometeorological Factors

Var.	Temperature		Humidity		Atmospheric pressure		Wind speed		Wind direction	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
NVOCs ¹	.590	.000***	.655	.000***	-.384	.000***	-.263	.018*	.023	.842

¹Total NVOCs emissions
r: Pearson's correlation, * $P<0.05$ *** $P<0.001$

7. NVOCs 발산에 대한 미기상인자의 영향

미기상인자가 NVOCs 발산에 미치는 상대적 영향을 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 분석 결과, 미기상인자는 NVOCs량의 53.2%를 설명하는 것으로 나타났다(Table 9). 기온($\beta=0.416$, $P=0.000$), 습도($\beta=0.507$, $P=0.000$), 기압($\beta=-0.234$, $P=0.048$), 풍속($\beta=-0.173$, $P=0.042$)은 NVOCs 발산량에 유의미하게 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 풍향은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 즉 기온과 습도가 높아질

수록, 기압과 풍속은 낮을수록 NVOCs량은 증가한다.

미기상인자 중 습도가 농도에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며 기온, 기압, 풍속 순으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

8. 종합고찰

본 연구는 기후변화에 따라 우리나라 산림생태계의 주요 자원이 될 것으로 보이는 난대수종림 4개소(붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무, 황칠나무)와 침엽수종인 곰솔림 임분 특성 및 NVOCs 발산 특성을 확인하고 그 활용 가능성에 대한 기초자료를 제공한다는 점에서 중요하다. 조사결과, 난대 상록활엽수림과 곰솔림의 국지적 평균기온과 습도는 여름철이 가장 높았고 가을과 겨울의 기압이 봄, 여름보다 높은 것으로 나타났다.

산림토양의 일반적 pH는 5.0~6.0, EC는 0.4dS/m로써 난대 상록활엽수림 4개소는 적정 수준으로 나타났으나 곰솔림의 경우 pH 평균 6.5, EC 평균 0.50dS/m로 생육에 영향을 미칠 수 있는 수준인 것으로 나타났다. 이는 곰솔림이 해안가에 위치하고 있어 높은 염류를 포함하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 각 조사지의 유효인산은 적정수준이었으나 경작지를 개량하여 조립한 황칠나무림은 인산비료의 축적으로 인한 인산 과잉 특성을 보였다. 5개소의 양이온치환용량(CEC)값은 일반 갈색산림토양의 범주였으며 계절별 토양성분 비교 결과 산림토양의 특성상 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

계절별 TNVOC 발산량은 난대 상록활엽수림 및 곰솔림 5개소 모두 기온과 습도가 높은 여름철이 봄, 가을, 겨울의 발산량보다 높았으며($P=0.000$) 봄은 황칠나무림(740.70pptv), 붉가시나무림(473.91pptv), 구실잣밤나무림(379.36pptv), 곰

Table 9. Multiple regression analysis of NVOCs and micrometeorological factors

Var.	Unstandardized coefficient		Std. Coef. β	t			Status index	Durbin-Watson	R2 (adj R2)	F-Value
	B	Standard Error			Tolerance	VIF				
(Constant)				-2.185*			1.000			
Temperature	10.090	2.087	0.416	3.801***	0.450	2.221	2.194	1.389	0.532 (0.501)	16.844***
Humidity	5.791	1.383	0.507	4.269***	0.419	2.384	3.834			
Atmospheric pressure	-2.872	1.426	-0.234	-2.902*	0.417	2.400	5.245			
Wind speed	-22.411	24.870	-0.173	-1.855*	0.728	1.373	6.995			
Wind direction	-0.049	0.164	-0.026	-0.299	0.866	1.155	13.285			

* $P<0.05$ *** $P<0.001$

솔림(363.55pptv), 동백나무림(320.31pptv) 순으로 여름은 붉가시나무림(1,730.31pptv), 곰솔림(1,659.13pptv), 황칠나무림(1,544.92pptv), 동백나무림(1,451.85pptv), 구실잣밤나무림(1,372.62pptv), 가을은 구실잣밤나무림(996.80pptv), 황칠나무림(367.80pptv), 곰솔림(280.47pptv), 동백나무림 157.02pptv), 붉가시나무림(130.6pptv), 겨울은 황칠나무림(572.08pptv), 동백나무림(178.94pptv), 곰솔림(121.69pptv), 구실잣밤나무림(32.37pptv), 붉가시나무림(29.13pptv) 순으로 높게 나타났다.

Lee 등(2012)은 충북도 내 휴양림을 대상으로 한 연구에서 침엽수림(옥천 장령산 698.3pptv, 단양 소선암 548.6pptv) 지역이 낙엽활엽수림(충주 봉황 236.0pptv) 지역보다 피톤치드 농도가 높게 나타났다고 하였으며 울산지역 산책로의 피톤치드 특성연구(Park *et al.*, 2013)에 따르면 문수산의 침엽수림(272.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 신불산의 낙엽활엽수림(50.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 피톤치드 농도가 높은 것으로 보고된 바 있다. 그러나 본 연구의 수종에 따른 계절별 NVOCs 발산량 비교결과, 침엽수종인 곰솔림보다 난대 상록활엽수종인 붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무, 황칠나무의 NVOCs 발산량이 낮지 않거나 오히려 높은 것을 확인하였다. 이는 기후변화에 따른 도시숲, 치유의 숲, 겨울철 다목적 산림 등 특정목적에 위한 숲 조성 시 난대 상록활엽수가 보다 효과적일 수 있다는 것을 시사하고 있다.

봄철에 가장 높게 검출된 성분은 α -pinene, β -pinene, Eucalyptol, Linalool, Menthol 순이고, 여름철은 α -pinene, β -pinene, Eucalyptol, Camphene, Cymene, 가을철은 α -pinene, β -pinene, Menthol, Borneol, Linalool, 겨울철은 Camphene, Menthol, Borneol, Camphor, α -pinene 순으로 높게 나타났다.

NVOCs는 기상인자 및 식생 등 다양한 내·외부요인들에 의하여 변화하는 것으로 알려져 있으며 향후 이러한 인자들에 대한 구체적 확인이 필요하다. 또한, 각각의 NVOCs 성분이 수목의 생장에 어떤 역할을 하는지, 계절별로 발산하는 성분들과 어떤 특성이 있는지 등 수목의 생리 및 발산 특성에 대한 심화분석을 통해 관계 규명이 요구된다.

다중회귀분석 결과 미기상인자(기온, 습도, 기압, 풍속, 풍향)는 NVOCs 발산량의 53.2%를 설명하였으며 기온과 습도가 높을수록 기압과 풍속은 낮을수록 NVOC량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 습도가 NVOC발산량에 가장 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구는 계절별 연구가 이루어졌음에도 일반화시키기에는 한계가 있을 것으로 판단되며 추후 이를 보완하기 위한 확장·반복 조사가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Allen, H.G. and E.G. Ian(2007) Known and unexplored organic constituents in the Earth's atmosphere. *Environmental Science & Technology* 41: 1514-1521.
- Bernart, M.W., J.H. Cardellina, M.S. Balaschak, M.R. Alexander, R.H. Shoemaker and M.R. Boyd(1996) Cytotoxic falcarinol oxylipins from *Dendropanax arboreus*. *Journal of Natural Products* 59(8): 748-801.
- Harrison, D., M. Hunter, A.C. Lewis, P.W. Seakins, T.V. Nunes and C.A. Pio(2001) Isoprene and monoterpene emission from the coniferous species *Abies Borisii-regis*-implications for regional air chemistry in Greece. *Atmospheric Environment* 35: 4687-4698.
- Hwang, J.S., J.T. Kang, Y.M. Son and H.S. Jeon(2015) Prediction of the Optimal Growth Site and Estimation of Carbon Stocks for *Quercus acuta* in Wando Area. *Journal of Climate Change Research* 6(4): 319-330. (in Korean with English abstract)
- Ji, D.Y., S.Y. Kim and J.S. Han(2002) Study on the Comparison to Source Profile of the Major Terpenes from Pine Tree and Korean Pine Tree. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 18(6): 515-525. (in Korean with English abstract)
- Jo, Y.S., S.J. Park, M.A. Jeong, J.H. Lee, R.H. Yoo, C.M. Kim and S.T. Lee(2018) Analysis of Phytoncide Concentration and Micrometeorology Factors by *Pinus Koraiensis* Stand Density. *Journal of Environmental Health Sciences* 44(3): 205-216. (in Korean with English abstract)
- Kang, D.J. and K.W. Kim(2012) Effects of Temperature and Wind Velocity on Phytoncide Concentration in Korean Pine(*Pinus Koraiensis*) Forest. *Journal of People Plants and Environment* 15(1): 15-20. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.T., J.W. Kim and C.M. Kim(2012) Development of Assessment Model for the Optimal Site Prediction of Evergreen Broad-leaved Trees in Warm Temperate Zone according to Climate Change. *Journal of Agriculture & Life Science* 46(3): 47-58. (in Korean with English abstract)
- Kang, S.K., M.K. Shin, Q.S. Auh, Y.H. Chun and J.P. Hong(2007) Antibacterial Effect on Oral Pathogenic Bacteria of Phytoncide from *Chamaecyparis Obtusa*. *Journal of Oral Medicine and Pain* 32(1): 45-55. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.W., C.H. Park, S.G. Lee, D.W. Joung, J.D. Lee and B.J. Park(2017) Development of a Prediction Model for NVOCs Concentration with Changing Microclimate in *Pinus Densiflora* Forest. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 21(3): 11-21. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.C., S.S. Oh, Y.C. Song and Y.J. Kim(2013) Distribution Characteristics of Phytoncide in Jeolmul Natural Recreation Forest of Jeju. *Journal of Naturopathy* 2(2): 89-98. (in Korean with English abstract)

- Kim, J.C.(2006) Trends and Control Technologies of Volatile Organic Compound. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 22(6): 743-757. (in Korean with English abstract)
- Kim, U.H. and Y.U. Kim(2010) The Current Status of Phytoncide Extraction and Finishing Technology. *Dyeing and Finishing* 5: 71-82. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service(2019) Statistical Yearbook of Forestry. Korea Fores Service, 444pp.
- Lee, B.K. and H.H. Lee(2012) A Study on the Effects of Human Physiology after Forest Phytoncide Therapy. *Journal of Naturopathy* 1(1): 14-20. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.O., S.H. Baek and D.M. Han(2001) Antimicrobial Effects of *Chamaecyparis obtusa* Essential Oil. *Korean Journal of Microbiology* 29(4): 253-257. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.W., D.G. Park and K.Y. Kim(2012) Characteristics of phytoncide production at the recreation forest in the Chungbuk area. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(2): 279-287. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment(2020) Korean Climate Change Assessment Report 2020. 339pp.
- Mishra, A.K. and N.K. Dubey(1994) Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Applied and Environmental Microbiology* 60(4): 1101-1105.
- National Center for Forest Therapy(2019) Forest Therapy Resources Research Report. 67pp.
- National Institute of Biological Resources(2019) The Guidebook of Climate Sensitive Biological Indicator Species. 32pp.
- National Institute of Forest Sciences(2013) Diagnosis method and utilization of forest soil. 265pp.
- National Institute of Forest Sciences(2018) Phytoncide Concentration and Micrometeorology Factors Occurrence Characteristics of *Pinus Koraiensis* stand. 64pp
- National Institute of Meteorological Sciences(2018) 100 Years of Climate Change on the Korean Peninsula. 31pp.
- National Institute of Meteorological Sciences(2019) Global Climate Change Prospect Report. 33pp.
- National Species Information System(2022) <http://www.nature.go.kr/main/Main.do>
- Park, H.J., B.G. Yu, S.H. Park, J.Y. Lee, Y.S. Hahm, S.W. Jeong, K.Y. Byeon, S.H. Kim, I.S. Jung and M.L. Lee(2013) Study on Seasonal Variation Characteristics of Forest Phytoncide in Ulsan Metropolitan Trails. *Journal of Environmental Science International* 22(11): 1415-1419. (in Korean with English abstract)
- Park, J.C., K.C. Yang and D.H. Jang(2010) The Movement of Evergreen Broad-Leaved Forest Zone in the Warm Temperate Region Due the Climate Change in South Korea. *Journal of Climate Research* 5(1): 29-41. (in Korean with English abstract)
- Park, S.U., K.A. Koo and W.S. Kong(2016) Potential Impact of Climate Change on Distribution of Warm Temperate Evergreen Broad-leaved Trees in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Geographical Society* 51(2): 201-217. (in Korean with English abstract)
- Yatagai, M., M. Ohira, T. Ohira and S. Nagai(1995) Seasonal variations of terpene emission from trees and influence of temperature, light and contact stimulation on terpene emission. *Chemosphere* 30(6): 1137-1149.
- Yun, J.H., K. Nakao, C.H. Park, B.Y. Lee and K.H. Oh(2011) Change Prediction for Potential Habitats of Warm-temperate Evergreen Broad-Leaved Trees in Korea by Climate Change. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25(4): 590-600. (in Korean with English abstract)