Journal of Environmental Science International
31(11); 901~910; November 2022

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.11.901

ORIGINAL ARTICLE

난대림의 NVOCs 잔존량 및 성분 특성

장수진 · 류도현[1] · 안기완[2]*
전남대학교 산학협력단, [1]전남대학교 대학원 임학과, [2]전남대학교 산림자원학과

The Retention and Chemical Composition of NVOCs (Natural volatile organic compounds) in a Warm Temperate Forest

Sujin Jang, Dohyun Ryu[1], Kiwan An[2]*
Chonnam National University R&D Foundation, Gwangju 61186, Korea
[1]Department of Forestry, Graduate School, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
[2]Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Abstract

The aim of this study was to investigate the amount (i.e., retention volume) and chemical composition of Natural volatile organic compounds (NVOCs) across different sites in a temperate forest. The three forest sites that were considered include riparian zones (site 1), streams (site 2), and densely-canopied areas (site 3). From May to October 2021, a mini pump was used to measure the collected NVOCs. These measurements were conducted once a month, from 10:30 am to 11:30 am; these times encompass peak visitation times. In the tree layers of the site 1 and 2, Quercus acuta was dominant, whereas Camellia japonica dominated their subtree layers. On the other hand, the tree layer of site 3 was dominated by Castanopsis sieboldii, whereas Camellia japonica dominated its subtree layer. The retention volume and chemical composition of NVOCs was as follows: benzaldehyde (107.528ppm), α-pinene (37.868ppm), linalool (16.258ppm), eucalyptol (14.818ppm), and sabinene hydrate (14.679ppm). In particular, the retention volume of benzaldehyde decreased as temperature increased. In contrast, the retention volume of α-pinene increased as the temperature increased. The differences in forest topography across the studies sites were in the following order: riparian area〉 forest area〉 stream area.

Key words : Warm temperate forest, NVOCs(Natural volatile organic compounds), Wando Arboretum, Mini pump, Benzaldehyde, α-pinene

1. 서 론

우리나라 산림정책은 오랫동안 치산녹화, 산지자원화 등 산림자원의 경제적 가치를 중시한 산림정책을 추진하였다. 그러나 최근에는 소득수준의 향상과 고령화 등의 인구구조의 변화, 여가시간 증대에 따른 라이프스타일의 변화에 따라 산림은 친목도모의 공간일 뿐만 아니라 휴양과 문화, 더불어 산림치유를 통한 건강증진 공간으로서 산림경관, 산림휴양 등의 공익적 가치가 보다 중시되고 있다(Jang, 2022). 특히, 산림청에서는「산림문화 휴양에 관한 법률」을 제정하여 산림치유(제2조 ④항)에 대한 정의를 명확히 함과 동시에 국민들의 산림복

Received 4 August, 2022; **Revised** 25 October, 2022;
Accepted 7 November, 2022
***Corresponding author :** Kiwan An, Department of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
Phone : +82-62-530-2085
E-mail : kiwan@jnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Fig. 1. Location of sampling sites.

지 요구를 충족시키기 위해 국립산림치유원 1개소 및 7개소의 국립숲체원, 38개소의 국·공립 치유의 숲을 지정하였고, 산림청 R&D 사업에 산림이 가진 치유메커니즘에 대한 구명과 산림치유자원의 특성에 관한 연구에 집중적인 연구비 투자를 추진하고 있다. 이와 더불어 한국산림복지진흥원에서는 조직 내 치유효과분석센터를 설치하고 산림치유효과에 대한 현장연구와 산림치유자원 특성에 관한 DB 축적과 꾸준한 산림치유자원의 특성을 조사·분석하는 업무를 수행하고 있음은 국민의 건강증진 및 산림복지 실현의 밑거름임과 동시에 우리나라 산림복지에 이바지 할 수 있는 귀중한 자산이 될 것으로 믿어 의심치 않는다(National Center for Forest Therapy, 2018). 특히, 2020년 초반에 전 세계적으로 찾아온 코로나19 팬데믹으로 인해 숲을 찾는 이용객의 급증에 대응하고 올바른 산림문화·휴양의 가치를 제공하기 위한 산림치유의 과학적 기초자료 확보는 더없이 필요한 시점이라 하겠다(Jang, 2022).

산림치유는 향기, 경관 등 자연의 다양한 요소를 활용하여 인체의 면역력을 높이고 건강을 증진시키는 활동이다(Korea Forest Service, 2021). 특히, 수목 자체에서 발산하는 휘발성 물질인 테르펜(Terpene)으로 구성된 피톤치드(이하 NVOCs(Natural volatile organic compounds)이라 표기 함)는 면역기능을 활성화시키고 항균, 방충 등 건강보건 분야에서 중요한 요소로 인식되고 있다(Park et al., 2018).

최근, 산림에서 수종별 NVOCs 농도에 대한 측정 연구(Lee et al., 2012; Kim et al., 2013a, Kim et al., 2013b; Lee et al., 2013; Lee et al., 2013; Oh et al., 2013; Park et al., 2013)는 주로 중부지역 산림에서 소나무, 잣나무 등에 대한 연구이다. 그러나 산림치유자원으로 중요하게 생각되는 북위 35°이남의 남해안과 제주도, 울릉도 지역 등 상록활엽수림인 난대림(Lim, 1993)에 대한 NVOCs 잔존량 및 성분의 연구는 전무한 실정이다. 물론, 우리나라의 난대림은 산림면적의 5% 수준인 약 30만 ha(Jeollanam-do, 2022)에 불과하지만 전라남도 완도수목원은 2020년 국립 난대수목원으로 지정되었고, 난대림의 대표적인 수목원으로서 그 이용객은 매년 증가하고 있어 앞으로 많은 이용객들이 방문할 수 있는 가능성이 있기 때문에 난대림의 대표 수종인 상록활엽수림에 대한 임분 내 NVOCs 잔존량은 어느 정도이며 어떤 성분에 의해 구성되어 있는지에 대한 연구가 매우 필요하다. 이에 난대림 치유인자인 NVOCs에 대한 객관적 자료 수집을 통해 우리나라 산림치유 연구에 대한 기초적인 자료 제공은 물론 국립수목원으로서 추진되어야 할 산림문화·휴양정책에 크게 활용될 수 있는 과학적인 자료를 제공하고자 함이 본 연구의 목적이다. 특히, 난대림에서의 NVOCs 잔존량과 성분 특성을 임분별 위치에 따른 NVOCs 잔존량과 성분, 이와 더불어 NVOCs와 기상환경인자와의 상관성을 구명하고자 수행하였다.

Fig. 2. Installation of mini pump(SIBATA(Japan), MP-Σ30N) for sampling sites 1, 2 and 3.

Table 1. State of sampling site

Site	Coordinate		Elevation (m)	Slope (˚)	Bearing (˚)	Soil acidity (pH)	Soil pollination (%)	Relative roughness (%)	Degree of closure (%)
	N	E							
1	34°04′10.36″	126°28′11.76″	91	24	55	6.77	36.67	1.07	78.68
2	34°21′33.34″	126°40′01.67″	87	13	255	6.87	16.67	2.58	70.62
3	34°21′25.46″	126°40′14.05″	129	11	300	6.20	28.50	0.54	76.34
Average			102.3	16.0	203.3	6.61	27.28	1.40	75.21

2. 연구 방법

2.1. 연구 범위

본 연구는 전라남도 완도수목원(난대림 대표 숲)을 대상으로 수행하였으며, 조사구는 탐방객들이 가장 빈번하게 이용하는 수목원 내 주요 탐방로 대상으로 임분 구성에 의한 치유물질 차이를 살펴보기 위하여 조사구 1은 저수지 인근의 수변지역, 조사구 2는 계곡의 계류지역, 조사구 3은 산림지역으로 구분하여 설치하였다(Fig. 1). 임분 내 NVOCs 포집은 2021년 5월부터 10월까지 월 1회, 하루 중 탐방객들이 가장 많이 이용하는 오전 10시 30분부터 11시 30분까지 1시간동안(mini pump) 측정하였다.

2.2. 연구 방법

임분 조사를 위해 설치한 3개 조사구는 각각 방형구(15m×15m)를 설치하여 임황(임종, 임상, 수종, 수고, 흉고) 및 지황(해발고, 방위, 경사, 토양, 상대 조도, 울폐도, 하층식생)조사를 수행하였다. 또한, 3개 조사구에서 α-pinene, camphene, benzaldehyde, sabinene, β-pinene 등 32개 항목의 NVOCs 포집과 임분 내 미기후(온도, 습도, 풍향, 풍속, 음이온)를 동시에 측정하였다. NVOCs는 각 조사구내에서 3대의 Tripod를 1 m 간격의 삼각형 형태로 Tenax Ta가 충진 된 Stainless steel tube(Tenax Ta Tube)를 장착한 포집용 미니펌프(SIBATA(Japan), MP-Σ30N)를 각 조사구별로 3대 설치하여 1시간(오전 10시 30분 ~ 11시 30분) 동안 포집하였다(Fig. 2). 포집 후, Stainless steel tube는 이물질이 들어가지 않도록 단단히 밀봉하여 기기분석 전까지 4°C 냉장보관한 후 가스크로마토그래프/질량분석기(GC-MS)를 사용하여 NVOCs의 총량 및 성분을 분석하였다. 음이온 농도에 대한 측정은 각 조사구에서 Air Ion Counter AIC-2000 측정장치를 사용하여 포집과 동일한 1시간 동안 5분 간격으로 측정한 값을 평균하여 구하였으며, 조사구별 임분내 온도(℃), 습도(%), 일사량(W/㎡), 지온(℃), 풍속(m/s), 풍향(°)에 대한 미기후 또한 측정하였다. 미기후 측정은 각 조사구 중심 지점에 삼각대를 세우고 일사량계, 온·습도계, 풍향·풍속센서, 지온센서로 구성된 미기후 모니터링 세트에 의해 측정하였으며 ZF-10R 데이터 수집 장치를 통

Table 2. Vegetation of sampling site

Site	Dominant species		Height (m)	DBH (cm)
1	Tree layer	*Quercus acuta*	11.5	27.3
			10.0 - 12.0	17.3 - 43.3
	Subtree layer	*Camellia japonica*	5.1	7.2
			2.5 - 9.0	1.0 - 18.6
2	Tree layer	*Quercus acuta*	10.0	13.4
			8.0 - 12.0	5.1 - 20.8
	Subtree layer	*Camellia japonica*	5.5	6.0
			3.0 - 8.0	2.5 - 9.8
3	Tree layer	*Castanopsis sieboldii*	12.2	18.5
			10.0 - 15.0	14.5 - 32.3
	Subtree layer	*Camellia japonica*	5.8	6.8
			2.0 - 10.0	2.1 - 18.6

해 자료를 수집하였고, 측정값은 음이온 측정과 동일하게 1시간 동안 5분 간격으로 측정한 값을 평균하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 임분 특성

임분의 수종 및 산림구성에 따른 NVOCs 잔존량 및 성분에 대한 연구는 국외 및 국내에서 다수 수행되었다. 연구 가운데 임분내의 테르펜 잔존량은 산림의 건강성을 보여주는 산림건강·활력도와 상관성을 보였다는 부분에 주목해야 한다고 생각한다. 지리산 침엽수림과 활엽수림의 산림건강·활력도는 NVOCs 잔존량 및 성분에 차이가 있다는 연구, 즉 산림의 건강·활력도 점수가 높을수록 임분의 테르펜 잔존량은 높았다(Wi et al., 2016)는 보고가 있으며, Kim et al.(2018)은 백양사 사찰림 비자나무 임분에 있어서 산림건강·활력도 점수가 높을수록 NVOCs 잔존량이 높았고 성분에도 차이를 보였다고 지적하기도 하였다. 또한, 산림건강·활력도가 높게 나타난 편백림과 점수가 낮은 혼효림의 테르펜량에는 양의 상관성을 보였고 그 결정계수는 0.571으로 나타났다고 지적하였다(Kim, 2015). 이에 난대림의 산림건강·활력도와 NVOCs 잔존량과의 특성을 파악하기 위해 임분의 건강·활력도를 표현하는 지황(토양 등) 및 임황(식생 구성 등)조사를 수행하였으며, 임분 특성을 파악할 수 있는 조사구 식생의 출현종에 대한 구체적인 수종 구성은 Jang(2022)의 연구를 참고하였으면 한다.

3.1.1. 지황 특성

본 연구 대상지의 임분은 완도수목원 난대림의 전시원이며, 또한 이용객들의 접근이 잦은 숲길 주변의 임분이다. 또한 해마다 하층식생 제거(풀베기 등) 작업과 과거 최소 1회 이상 실시된 숲가꾸기 작업으로 인해 교목, 아교목층의 임분밀도는 비교적 낮으며, 관목층 식생은 거의 제거되어 하층식생은 초본류와 목본의 치수들이 다양하게 혼생함으로써 피복률이 높다는 특징이 조사되었다. 그러나 수관층은 낮은 밀도에도 불구하고 간벌 이후 수관폐쇄가 빠르게 진행되어 임내조도는 낮은 편(1.4%)이었으나, 울폐도는 높게(75.2%) 나타났다. 즉, 완도수목원 정상의 상황봉 주변의 인위적인 관리가 이루어지지 않아 교란되지 않은 상록활엽수 임분에 비하면 임내조도는 높으나 울폐도는 낮은 편에 속한다. 조사구 3개소 모두 70% 이상의 높은 울폐도와 낙엽층의 피복으로 인해 토양수분은 비교적 양호한 편(27.3%)이었으나, 조사지 2의 경우는 전석지(talus, 너덜)에 위치한 관계로 토양발달이 미약하여 상대적으로 건조하였으며, 전 조사구의 토양산도는 평균 6.61로 중성토양에 가까운 특성을 보였다(Table 1).

3.1.2. 임황 특성

조사구 1의 교목층은 붉가시나무, 산벚나무, 개서어나무가 분포하였고 이중 붉가시나무(65.2%)가, 아교목

Table 3. NVOCs retention volume of sampling sites by months

(unit: ppm)

Site	May	June	July	August	September	October	Total
1	15.795	6.555	8.561	34.992	23.536	42.253	131.692
2	19.659	8.025	11.233	14.370	9.165	12.578	75.030
3	25.589	6.757	13.508	14.289	8.911	11.297	80.351
Total	61.043	21.337	33.302	63.651	41.612	66.128	287.073

층은 동백나무, 후박나무, 산벚나무, 말오줌때가 분포하였으나 동백나무(88.0%)가 우점하였다. 조사구 2의 교목층은 붉가시나무, 개서어나무, 졸참나무, 때죽나무가 분포하였고 이중 붉가시나무(85.5%)가, 아교목층에는 동백나무, 광나무 2종이 분포하였으나 동백나무(97.3%)가 우세하였다. 조사구 3의 교목층에는 구실잣밤나무, 황칠나무, 졸참나무, 굴거리나무, 붉가시나무, 굴참나무, 때죽나무가 분포하였고 이중 구실잣밤나무(55.8%)가, 아교목층은 동백나무, 황칠나무, 굴거리나무, 붉가시나무, 산벚나무, 광나무, 합다리나무, 팥배나무가 분포하였으나 동백나무(44.9%)가 우세하였다. 조사구 3은 수고가 높고 임관층의 수종 구성이 다양하였고, 조사구 1은 종 구성이 단순한 반면 직경급이 높은 교목들이 다수 분포하였으며, 모든 조사구의 아교목층에서는 다양한 경급으로 분포하는 동백나무 수종이 우점하고 있는 전형적인 난대림으로 나타났다(Table 2).

조사구의 수종 구성을 살펴보기 위해 출현종을 조사한 결과, 조사구 1의 교목층은 붉가시나무를 비롯한 3종, 아교목층에는 동백나무 등 4종, 초본층에는 소엽맥문동을 비롯한 40종이 각각 출현하였다. 조사구 2의 교목층은 붉가시나무를 비롯한 4종, 아교목층에는 동백나무와 광나무 2종, 초본층에는 자금우를 비롯한 46종이 각각 출현, 임관층의 종구성은 빈약한 반면 초본층 식생은 종 다양성을 보였으며 조사구 3의 교목층에는 구실잣밤나무를 비롯한 7종, 아교목층에는 동백나무를 비롯한 8종, 초본층에는 콩짜개덩굴을 비롯한 42종이 각각 출현하였다(Jang, 2022). 완도수목원 내부 자료(Wando-arboretum, 2022)에 의하면 완도수목원(상황봉 중심) 식생의 특징은 상록활엽수림의 전형적인 군집구조를 보여준 동백나무, 붉가시나무, 구실잣밤나무, 황칠나무, 감탕나무, 소사나무 등 자생식물들이 임분을 구성하고 있으며, 이 가운데 붉가시나무와 구실잣밤나무의 중요치가 높은 임분을 보여주고 있다는 점이 특징이라고 지적하고 있다. 본 조사구의 교목층에 대한 중요치의 경우에도 상황봉 일대의 숲과 거의 유사한 상태로 유지하고 있는 특징을 보였으며, 전남지역의 난대림에 대한 상록활엽수림 식물사회학적 분석, 군집구조, 식생, 복원, 갱신 등의 연구(Kim, 1988; Jeollanam-do, 1995; Oh, 1996)에서 제시하고 있는 특징과 유사한 경향을 보였다.

3.2. 음이온 농도 및 NVOCs 잔존량과 성분 특성

3.2.1. 음이온 농도

조사구 임부에서 조사한 음이온 최댓값은 2,140개/㎤, 최솟값은 15개/㎤, 평균 농도는 783개/㎤으로 나타났다. 한국 산림복지진흥원 소속기관(국립산림치유원, 4개 숲체원, 3개 치유의숲)을 대상으로 조사 보고한 전체 음이온 평균 농도는 687개/㎤보다 높은 결과로 나타났다(National Center for Forest Therapy, 2018). 일반적으로 폭포수 효과라고도 하는 레너드 효과(Lenard effect)에 의해 폭포, 계곡의 물가, 분수 등에서 음이온이 다량 발생한다(Jeon and Jo, 2009)는 보고와 같이 조사구 2의 933개/㎤〉조사구 1의 715개/㎤〉조사구 3의 701개/㎤ 순으로 조사구 2(계곡의 계류지역)의 임분에서 가장 높게 나타났다. 계절별에 따른 음이온 평균 농도는 여름(6, 7, 8월)의 817개/㎤〉가을(9, 10월) 733개/㎤로 여름철에 가장 높은 결과를 보였다. 또한 조사구 내 음이온의 농도는 임분 내 풍속과는 부(-)의 관계, 기온, 습도와는 정(+)의 경향을 보였으며 이는 국립산림치유원의 연구 보고와 동일한 결과를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. Jeon and Jo(2009)의 숲 내 음이온 함유량에 관한 연구에서 숲 내의 음이온 함유량의 많고 적음도 중요하지만 치유유형에 적합한 수종선정 및 숲 관리방법의 중요성을 제안하였던 점과 같이 난대림에서도 이러한 점을 고려한 숲의 관리가 중요할 것으로 판단되며 특히, 공기 중의 음이온은 스트레스 상태에서 교감신경계와 함께 작용하여 신체 반응을 일으키는 카테콜아민의 증가를 억제하는 산림의 건강 물질 중

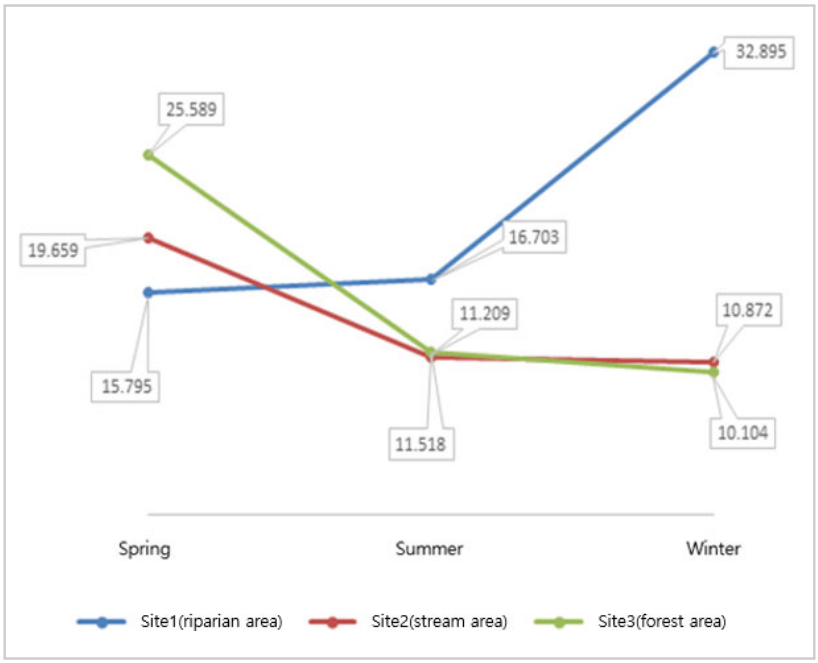

Fig. 3. NVOCs retention volume of sampling sites by seasons.

의 하나로 알려져 있어(Kim et al., 2008), 난대림 탐방은 바람이 없는 쾌적한 날에 계곡주변 산책로에서 휴양활동을 한다면 상기의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2.2. NVOCs 잔존량과 성분 특성

조사구별 NVOCs 잔존량 및 분자량을 고려하여 환산한 NVOCs 농도(ppm) 값은 (Table 3)과 같다. 월별 NVOCs 잔존량은 10월(66.128 ppm) 〉8월(63.651 ppm) 〉 5월(61.045 ppm) 〉 9월(41.612 ppm) 〉 7월(33.301 ppm) 〉 6월(21.337 ppm) 순으로 10월에 최고치를 보였다.

5월부터 10월까지 조사구별 NVOCs 총 잔존량을 계절별로 평균하여 살펴보면, 조사구 1은 131.692 ppm 〉 조사구 3은 80.352 ppm 〉 조사구 2은 75.031 ppm 순으로 나타났으며, 봄에는 조사구 3(산림지역)에서, 여름과 가을에는 조사구 1(수변지역)에서 최고치 NVOCs 총 잔존량을 보였다(Fig. 3).

임분 내 NVOCs 잔존량은 수목의 생태와 밀접한 관계를 가지는 것으로 임상, 수종, 임령, 기상, 지형 등 임분의 지황과 임황 특성에 따라서 차이를 보인다는 연구보고가 있다. Yatagai et al.(1995)은 봄과 가을에 NVOCs 잔존량이 최고치를 보였다는 결과를 제시하였고, National Center for Forest Therapy(2018)의 보고에 의하면 한국 산림복지진흥원 소속기관(숲체원 및 치유의 숲)의 계절별 평균 농도는 여름에 가장 높았으며, 시간별로는 저녁(17시), 아침(8시), 점심(12시) 순으로 높은 농도를 나타냈으며 통계적으로 유의미하였다고 보고하였다. 그러나 소속기관 조사 지점별로는 차이가 없게 나타났는데 결과에 대해서는 조사지점별 데이터 축적이 더 필요한 부분이라 해석하였다. 이처럼 일관성을 보이지 않은 NVOCs 잔존량은 임분 내 기온, 습도, 풍속에 따라 차이를 나타내는 결과라고 할 수 있을 것이다. 본 3개 조사구의 경우에도 조사구 1은 저수지 주변에 위치하고 있고, 조사구 2는 계곡부에 접한 임분이며, 조사구 3은 산 능선부에 위치하고 있는 지형적 차이로 인하여 대기 순환과 안정 등의 미기후적 특성이 NVOCs 잔존량에 영향을 미쳤다고 추론되는 부분으로 보다 많은 연구 자료의 축적이 요구되는 부분이다.

NVOCs 32가지 분석물질 중 가장 농도가 높은 순으로 5가지 물질의 비율을 분석한 결과, 항염, 항균이 있는 것으로 알려져 있는 benzaldehyde(37.5%), 항산화, 항

Table 4. NVOCs characteristics of chemical compositions by months

(unit: ppm)

NO.	NVOCs	May	June	July	August	September	October	Total	Component(%)
1	α-pinene	4.665	2.879	11.153	11.519	3.898	3.754	37.868	13.2
2	camphene	0.516	0.237	0.739	1.520	0.908	1.455	5.375	1.9
3	benzaldehyde	24.883	7.665	10.792	17.933	20.043	26.210	107.528	37.5
4	sabinene	4.349	0.952	1.165	1.193	0.664	1.153	9.475	3.3
5	β-pinene	2.551	0.918	1.274	2.285	1.318	2.069	10.414	3.6
6	myrcene	0.992	0.759	0.219	1.115	0.830	1.745	5.659	2.0
7	α-phellendrene	0.145	0.043	0.033	0.024	0.011	0.096	0.352	0.1
8	(+)-3-carene	0.273	0.025	0.016	1.126	0.016	2.234	3.689	1.3
9	1,4-cineol	0.077	0.033	0.066	1.166	0.012	2.709	4.062	1.4
10	α-terpinene	0.232	0.103	0.353	0.618	0.445	0.099	1.850	0.6
11	cymene	0.050	0.024	0.958	1.207	0.751	1.699	4.689	1.6
12	limonene	0.988	0.188	0.930	1.152	0.599	1.228	5.086	1.8
13	eucalyptol	2.764	1.167	2.586	3.461	2.426	2.413	14.818	5.2
14	γ-terpinene	0.514	0.197	0.924	0.714	0.272	0.199	2.820	1.0
15	sabinene hydrate	10.822	3.781	0.000	0.000	0.000	0.075	14.679	5.1
16	α-terpinolene	0.383	0.064	0.403	0.763	0.577	0.159	2.350	0.8
17	fenchone	0.010	0.019	0.066	1.173	1.157	2.790	5.216	1.8
18	linalool	1.975	1.073	0.432	2.797	3.057	6.924	16.258	5.7
19	camphor	1.133	0.346	0.378	1.574	2.021	3.243	8.697	3.0
20	borneol	0.131	0.061	0.001	8.963	0.000	0.000	9.155	3.2
21	menthol	0.322	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.330	0.1
22	α-terpineol	0.060	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.0
23	nerol	0.347	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.373	0.1
24	pulegone	0.026	0.002	0.048	0.005	0.000	0.019	0.099	0.0
25	geraniol	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.0
26	bornyl acetate	1.166	0.033	0.103	1.597	1.446	0.135	4.480	1.6
27	longifolene	0.493	0.466	0.497	1.486	1.162	2.738	6.842	2.4
28	caryophyllene	0.000	0.000	0.084	0.256	0.000	0.134	0.474	0.2
29	farnesene	0.192	0.077	0.061	0.002	0.000	1.704	2.036	0.7
30	valencene	0.196	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.1
31	nerolidol	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	1.038	1.058	0.4
32	bisabolol	0.762	0.172	0.000	0.000	0.000	0.105	1.039	0.4
	Total	61.045	21.337	33.301	63.651	41.612	66.128	287.073	100

암 효능이 있는 α-pinene(13.2%), linalool(5.7%), eucalyptol(5.2%), sabinene hydrate(5.1%)순으로 나타났으며 α-terpineol, pulegone, geraniol은 극소량 검출되었다(Table 4). 계절별로 살펴보면 봄에는 benzaldehyde, sabinene hydrate, α-pinene 순으로, 여름에는 benzaldehyde, α-pinene, borneol 순으로, 가을에는 benzaldehyde, linalool, α-pinene 순으로 특히 benzaldehyde는 7월을 제외한 전체 기간에서 가장 높은 잔존율을 보였으며, 조사구 잔존량을 살펴보면 조사구 1은 benzaldehyde 〉 linalool 〉 α-pinene, 조사구 2는 benzaldehyde 〉 α-pinene 〉 sabinene hydratel, 조사구 3은 benzaldehyde 〉 α-pinene 〉

Table 5. Regression analysis of benzaldehyde and meteorological factors

Item	β1(unstandardized coefficient)	β2(standardized coefficient)	t	p	F	p	Adj R^2
Constant	16.371		5.712	0.000	13.515	.002b	0.424
Temperature	-0.462	-0.677	-3.676	0.002			

*p<.05

Table 6. Regression analysis of α-pinene and meteorological factors

Item	β1(unstandardized coefficient)	β2(standardized coefficient)	t	p	F	p	Adj R^2
Constant	-3.051		-1.543	0.142	6.977	.018b	0.260
Temperature	0.229	0.551	2.641	0.018			

*p<.05

eucalyptol 순으로 benzaldehyde는 전 조사구에서 가장 높은 잔존율을 나타냈다.

한국 산림복지진흥원의 연구보고서(2018)에 의하면 산림복지진흥원 소속기관(숲체원 및 치유의 숲)의 숲을 대상으로 31가지 NVOCs 잔존량을 분석한 결과, α-pinene(38%), camphene(18%), camphor(12%), β-pinene(11%) 순으로 나타났다고 보고하였으며, 비자나무림을 대상으로 NVOCs 잔존량에 대해 조사한 결과, limonene(43~52%), α-pinene(35~39%)순으로 나타났다(Kim et al., 2018). 이와 같은 결과는 임분 내 NVOCs 잔존량 및 성분은 수목의 생태와 더불어 임상, 수종, 임령, 기상, 지형 등 지황과 임황 특성에 따라서 차이가 있는 것으로 해석된다. 즉, 임분 내 NVOCs 잔존량과 성분에 대한 특성을 설명하고자 할 경우에는 숲의 구성 및 수종 등 임분의 지황과 임황조사가 무엇보다도 중요하며 더불어 과학적 근거를 제시할 수 있는 지속적인 NVOCs 자료의 축적이 필요한 부분이라고 생각한다.

3.2.3. 기상과 NVOCs 잔존량 농도의 상관관계

3개 조사구에서 가장 높은 농도를 보인 Benzaldehyde, α-pinene 잔존량과 기상인자와의 상관성을 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였다. 먼저 기온, 습도, 풍속에 대한 기상인자와 Benzaldehyde 잔존량을 다중회귀분석을 실시한 결과, F=13.515(p<0.05), 설명력(R^2)은 0.424로 나타났다. 또한 표준화 계수인 β값은 기온 -0.677로 나타났으며 기온이 내려갈수록 Benzaldehyde 잔존량은 증가한다는 결과를 얻었으며(Table 5), 추정된 Benzaldehyde의 회귀식은 $Y = 16.371-0.462X_1$ (Y=benzaldehyde, X_1=기온)로 나타났다.

또한 기온, 습도, 풍속에 대한 기상인자와 α-Pinene 잔존량을 다중회귀분석을 실시한 결과, F=6.977(p<0.05), 설명력(R^2)은 0.26로 나타났다. 또한 표준화 계수인 β값은 기온 0.551로 로 나타났으며 기온이 상승할수록 α-Pinene 잔존량은 증가한다는 결과를 얻었으며(Table 6), 추정된 α-Pinene의 회귀식은 $Y = -3.051+0.229X_1$ (Y=α-Pinene, X_1=기온)로 나타났다.

National Center for Forest Therapy(2018)의 한국 산림복지진흥원 소속기관 전체에 대한 연구에 의하면 NVOCs 농도는 온도가 상승할수록, 습도가 증가할수록, 풍속이 낮을수록 농도가 높게 나타난다고 하였다. 또한 Kim(2015), Wi et al.(2016), Kim et al.(2018), Jang(2022)의 연구에서도 기상과 NVOCs 농도 간의 상관관계 특성을 보고한 결과와 같이, 본 연구에서도 기상인자들과 NVOCs 잔존량 간에 뚜렷한 상관성은 보이지 않았으나 상기의 연구결과와 유사한 경향은 난대림에 있어서도 기상과 NVOCs 농도 간의 상관관계는 존재한 것으로 보인다. 그러나 측정 시간 및 측정 횟수의 다양성, 포집된 NVOCs 농도의 변동 폭 등 다양한 요인에 대해 실험설계에 있어서 검토하고 계절적 NVOCs 잔존량의 메커니즘 및 미기상 요소와의 통계적 유의성을 찾기 위해서는 보다 많은 데이터 수집이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

어메니티(amenity)의 본래의 의미는 「쾌적성, 기분 좋음」을 나타낸다. 산림 어메니티의 효과를 가져 오는 요인으로 자주 거론되고 있는 것은 주로 수목의 지엽에서 대기 중으로 방출되는 휘발성물질(피톤치드)으로, 이는 대표적인 어메니티 요소일 것이다. 피톤치드란, 수목 등이 발산하는 화학물질로 산림의 향기성분이며, 건강뿐만 아니라 치유나 안락감을 주는 효과가 있다고 일컬어지고 있으며, 피톤치드의 성분은 편백·소나무 등의 침엽수와 참나무류 등의 활엽수는 상당히 성격이 다르다는 점이 알려져 있다(Uehara et al., 2017). 이에 완도수목원은 난대림의 대표적인 수목원으로서 그 이용객은 매년 증가하고 있어 이용객들에게 어메니티에 대한 과학적인 자료를 제공하기 위해 난대림의 NVOCs 잔존량 및 성분에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과, 완도수목원 난대림의 조사구 1(수변지역) 및 조사구 2(계류지역)의 교목층은 붉가시나무, 아교목층은 동백나무가 우점하였고, 조사구 3(산림지역)의 교목층은 구실잣밤나무, 아교목층은 동백나무가 우점한 임분으로 나타났다. 임분내의 NVOCs 잔존량은 benzaldehyde(107.528 ppm), α-pinene(37.868 ppm), linalool(16.258 ppm), eucalyptol(14.818 ppm), sabinene hydrate(14.679 ppm) 순으로 나타났으며 특히 NVOCs 물질 중 benzaldehyde 잔존량은 기온이 내려갈수록 증가하였으며 α-pinene은 기온이 상승할수록 증가하는 상관성을 보였다.

최근, 코로나19 확산으로 실내 공간 보다는 붐비지 않는 실외공간인 숲을 더 찾고 있어, 산림복지서비스 제공지가 코로나19 대응의 일상 속 작은 휴식과 위로의 공간으로 변모해 가는 듯하다. 이는 개인에 대한 복지수준에 국민적 관심 및 산림복지서비스에 대한 높은 요구에 대한 대응하려는 산림청의 복지정책의 결과이겠지만, 산림환경이 가지고 있는 치유인자(NVOCs 잔존량, 어메니티)의 과학적 해명·검증에 대한 다양한 연구결과는 숲 이용자들이 숲에서 휴식하고자 하는 이유 중의 하나이라고 하여도 과언이 아닐 것이다. 그러나 난대림에 있어서 NVOCs 잔존량에 대한 편중된 측정 시간과 측정 횟수의 제한, 같은 장소임에도 불구하고 산림환경 및 미기후적인 요소에 따라 잔존량의 차이 등, 본 연구의 한계점들이 다소 내재되고 있다. 이에 장시간 모니터링, 지리적 위치, 지형적 특징 등 산림환경 요소의 다양성에 대응한 NVOCs 잔존량에 대한 많은 자료를 구축한다면 난대림 치유인자에 대한 의미가 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 산림의 보건·휴양적 측면에서 난대림에 있어서 산림환경과 치유인자(NVOCs 잔존량)에 대한 기초적인 연구 결과를 제시하였다는 점에서 그 의의를 찾고자 하며 더 많은 난대림 NVOCs 잔존량에 대한 사례연구가 필요하다는 점을 제안하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2020183E10-2122-AA02)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

REFERENCES

Jang, S. J., 2022, NVOCs retention, physiological and psychological effects of warm temperate forest, Master's thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea.

Jeollanam-do, 1995, The vegetation structure of the Dadohaehaesang National Park, Korea, 372.

Jeollanam-do Wando-arboretum, 2022, http://www.wando-arboretum.go.kr.

Jeollanam-do, 2022, Business report, Korea.

Jeon, K. S., Jo, Y. B., 2009, A study on the negative ion content in the forest, The Journal of Korean Institute of Forest Recreation, 1, 15-17.

Kim, A. R., Yang, C. E., Heo, Y. N., Kim, K. S., Park, J. S., Kim, E. I., An, K. W., Kim, M. H., 2018, The NVOCs retention volume and characterization of chemical compositions from *Torreya nucifera* stand in temple forest of Baekyang Mt, Korean Forest Economics Society, 25, 25-37.

Kim, H. C., Oh, S. S., Song, Y. C., Kim, Y. J., 2013, Distribution characteristics of phytoncide in Jeolmul Natural Recreation Forest of Jeju, Journal of Naturopathy, 2(2), 89-98.

Kim, H. C., Oh, S. S., Song, Y. C., Kim, Y. J., 2013, Distribution characteristics of phytoncide in Seogwipo Natural Recreation Forest, Journal of Naturopathy, 2(2), 99-107.

Kim, J. H., 1988, Phytosociological study on evergreen broad-leaved forest of Korean peninsula, Ph. D. Dissertation, Kon-Kuk University, Seoul, Korea.

Kim, M. H., 2015, Distribution characteristics of terpene within the major forest type of Mudeung

Mountain National Park, Ph. D. Dissertation, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
Kim, S. K., Shin, W. S., Kim, M. K., Yeoun, P. S., Park, J. H., Yoo, R. W., 2008, The effects of negative ions on stress responses and cognitive functions, Jour. Korean For. Soc., 97(4), 423-430.
Korea Forest Service, 2021, http://www.forest.go.kr.
Lee, D. H., Kim, M. H., Park, O. H., Park, K. S., An, S. S., Seo, H. J., Jin, S. H., Jeong, W. S., Kang, Y. J., An, K. W., Kim, E. S., 2013, A Study on the distribution characteristics of terpene at the main trails of Mt. Mudeung, J. Environ Health Sci., 39(3), 211-222.
Lee, S. W., Park, D. G., Kim, K. Y., 2012, Characteristics of phytoncide production at the recreation forest in the Chungbuk area, Journal of Environmental Impact Assessment, 21(2), 279-287.
Lee, Y. G., Choi, W. S., Cho, M. S., Kim, J. W., Kim, J. H., Park, M. J., 2013, Seasonal change of natural VOC concentration in *Pinus koraiensis* forest, Proceeding of the Journal of the Korean Wood Science & Technology, 160-161.
Lim, K. B., 1993, The principles of afforestation., Hyangmoonsa., Koera, 275.
National Center for Forest Therapy, 2018, The forest welfare resources survey business report, Yeongju, Korea.
Oh, G. Y., Seo, Y. G., Park, G. H., Kim, I. S., Bae, J. S., Park, S. I., Ha, H., Yang, S. I., Lee, J. H., Lee, W. J., 2013, Comparison of monoterpene in ambient air at forest and essential oil, J. Korean Soc. For. Sci., 102(3), 309-314.
Oh, K. K., Kim, Y. S., 1996, Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(Ⅰ)-vegetational structure-, Korean J. Environ. Ecol., 10, 87-102.
Park, H. J., Yu, B. G., Park, S. H., Lee, J. Y., Hahm, Y. S., Jeong, S. W., Byeon, K. Y., Lee, H. H., Choi, S. M., Son, J. M., Lee, M. L., 2013, Study on timely characteristics of forest phytoncide in Ulsan metropolitan trails, The Korean Environmental Science Society, 22(11), 1451-1456.
Park, S. J., Lee, J. H., Yu, R. H., Cho, Y. S., Lee, S. T., Jeong, S. H., 2018, Phytoncide concentration and micrometeorology factors occurrence characteristics of *Pinus koraiensis* stand, Report 18-20, National Institute of Forest Science., Seoul, Korea.
Uehara, I., Shimizu, Y., Sumitomo, K., Takayama, N., 2017, Forest amenity-forestry and human health sciences-, Asakura publishing co., Ltd., Japan, 167.
Wi, J. S., Kim, H. R., Yang, C. E., Gang, G. S., Lee, J. I., Park, H. S., Kim, M. H., Kim, E. I., An, K. W., 2016, Characteristics on the residual amount of terpenes at coniferous and broad-leaved forests, Jiri Mt. Valley, Journal of the Korean Institute of Forest Recreation, 20(3), 61-71.
Yatagai, M., Ohira, M., Ohira, T., Nagai, S., 1995, Seasonal variations of terpene emission from trees and influence of temperature, light and contact stimulation on terpene emission. Chemosphere, 30(6), 1137-1149.

• Researcher. Su-Jin Jang
Chonnam National University R&D Foundation
sujin0946@naver.com
• Graduate student. Do-Hyun Ryu
Department of Forestry, Graduate School, Chonnam National University
rdh321@nate.com
• Professor. Ki-Wan An
Department of Forest Resources, Chonnam National University
kiwan@jnu.ac.kr