

산림휴양지 유형에 따른 피톤치드(모노테르펜) 농도 비교

이용기* · 우정식* · 최시림* · 신은상**†

*경기도보건환경연구원 대기연구부

**동남보건대학교 환경보건과

Comparison of Phytoncide (monoterpene) Concentration by Type of Recreational Forest

Yong-Ki Lee*, Jung-Sik Woo*, Si-Rim Choi*, and Eun-Sang Shin**†

*Gyeonggi-do Institute of Health and Environment

**Department of Environmental Health, DongNam Health University

ABSTRACTS

Objectives: This study was conducted to provide scientific and effective information on phytoncides, which are associated with forest healing, and to activate recreational forests.

Methods: The target sites were natural recreation forests, a forest park and an arboretum, and the control sites were three urban parks. The samples were collected at a volume of 6.0 L and a flow rate of 0.1 L/min for one hour using a low volume pump and the solid adsorbent sampling method. The phytoncide compounds adsorbed in the Tenax TA tube were analyzed by a automatic heat desorption unit and GC-MS.

Results: By type of recreational forest, the annual concentrations of phytoncide (monoterpene) for the forest park showed the highest concentration with 1.450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while those for the arboretum showed the lowest concentration at 0.892 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and thus the concentration of the forest park was approximately 1.6 times higher than the arboretum. The season showing the highest concentration of phytoncides was summer (June) and the forest park was the highest among the recreational forests. The concentrations of major components for phytoncide showed in descending order: α -pinene, β -pinene, camphene, 3-carene and limonene. The seasonal concentration of α -pinene, camphene and β -pinene by type of recreational forest increased in April, which is characterized by low temperature and humidity, and the seasonal concentration of camphene decreased with higher humidity. The meteorological factors which had the high correlation with the concentration of total terpene were temperature and humidity. CO_2 and O_2 showed an inverse correlation.

Conclusion: The major components of phytoncide were α -pinene, β -pinene, camphene, 3-carene and limonene in descending order of concentration. Further and systematic study on the chemical nature of individual phytoncides, and on the effect of phytoncides on humans needs to be performed.

Key words: Forest healing, monoterpene, phytoncide, recreational forest

I. 서 론

산업화와 도시화가 급격히 진행되면서 자연과 접할

수 있는 공간이 점점 줄어들고 있다. 이로 인해 각종 스트레스와 아토피성 피부염 등 환경성 질환은 크게 증가하고 있는 것이 현실이다. 이에 따라 인간들은 숲

†Corresponding author: Department of Environmental Health, DongNam Health University, Suwon 440-714, Korea, Tel : +82-31-249-6454, Fax: +82-31-249-2496, E-mail: sylphs@dongnam.ac.kr
Received: 26 May 2015, Revised: 17 August 2015, Accepted: 18 August 2015

에서 얻어지는 유용한 물질이 인간의 건강을 증진하는데 크게 기여 한다는 것을 알고 숲에서의 활동이 단순히 휴식하는 정도의 휴양에서 적극적인 의미의 휴양인 산림치유의 개념으로 전환되고 있는 실정이다.¹⁾

숲에서 방출되는 피톤치드는 식물(Phyton)과 죽이다(cide)를 뜻하는 그리스어의 합성어로 수목이 자신을 보호하기 위해 발산하는 휘발성유기물질(VOCs, 주요 성분은 테르펜)이며 산림에서 나는 향기(산림향)로 정의할 수 있다. 피톤치드는 일반적으로 활엽수보다는 침엽수(소나무, 잣나무, 편백나무 등)에서 많이 방출되는 것으로 알려져 있다. 또한 나무가 곤충이나 미생물 등 외부로부터 자기방어 수단으로 방출하여 섭식 저해작용, 살충작용, 살균작용 등의 역할을 하는데 인간에게는 신체적·정서적 안정감과 쾌적감을 주고 스트레스를 완화시켜 주며 숙면효과가 있어 이것이 면역력 향상으로 이어지면서 건강증진의 효과를 낳는다.²⁾ 주로 pinene, camphene 등은 사람이 들이마시면 스트레스 호르몬 분비가 줄고 혈압이 떨어지며 면역 세포가 활성화되는 등의 건강 효과가 있는 것으로 알려져 있다.³⁾ 아울러 공기를 정화하거나 악취를 없애는 소취, 탈취 기능이 있으며, 식품의 방부 및 살균작용 그리고 곰팡이와 진드기를 없애는 방충작용도 있다.⁴⁾

식물에서 방출되는 VOCs는 크게 3가지로 분류된다. mono terpene과 isoprene 및 기타 VOCs 성분이다. 기타 VOCs는 다양한 화합물이 포함되지만 풀냄새 성분으로 알려진 푸른 잎 alcohol이나 sis terpene, methanol 등도 이 범주에 들어간다. 많은 식물이 isoprene과 mono terpene를 방출하지만 특히 열대림은 isoprene을 많이 방출한다. isoprene과 mono terpene의 큰 차이점은 isoprene이 낮에 밖에 방출되지 않는 반면 mono terpene은 하루 종일 방출되는 것이다. 현재 지구 전체에서 연간 방출량은 mono terpene이 약 1.5억 톤 isoprene이 약 5억 톤, 기타가 약 5억 톤으로 알려져 있다.⁵⁾

산림욕이라는 용어는 1982년 일본의 아사히신문에서 최초로 소개되었다. 최근에는 생리적 쾌적성을 평가하는 기술이 급속도로 발전하면서 산림욕에 관한 자료가 축적되어, 2003년에 산림테라피란 신조어가 만들어졌다. 산림테라피란 과학적 증거로 입증된 산림욕 효과를 뜻하며, 산림에서 유래한 자극이 생리적 이완 상태를 유도하여 면역기능이 올라가고 병에

잘 걸리지 않는 몸을 만드는 효과를 뜻하며 예방의학 차원의 개념이라 할 수 있다.⁶⁾ 우리나라도 산림욕에 대한 제도적인 차원에서 체계적인 모습을 갖추고 있으며 대표적인 산림문화 휴양시설은 자연휴양림, 산림욕장, 수목원, 치유의 숲 등으로 매년 이용객이 증가하고 있다. 본 연구는 산림휴양에 유용한 물질인 피톤치드의 분포특성을 조사하여 산림치유에 필요한 과학적이고 효과적인 정보를 제공하고 환경적 영향에 대한 연구를 통해 산림 휴양지의 활성화 및 행복한 삶을 추구하기 위한 환경정책 수립방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 대상지역 선정

대상지역은 경기도 소재 산림휴양지로 Table 1과 같으며 자연휴양림, 산림욕장, 수목원에 대하여 각 3개소씩을 대상으로 하였다. 또 대조군으로 도시공원 3개소를 선정하여 산림휴양지와 비교할 수 있도록 하였다. 연구기간은 2013년과 2014년 4월부터 10월까지 매년 4회 측정하였다. 자연휴양림(natural recreational forests)은 국민의 정서함양·보건휴양 및 산림교육 등을 위하여 조성한 산림을 말하며 숙박시설을 갖추고 있는 특징이 있다.⁷⁾ 수목원(arboretum)은 산림에 대한 자연학습 교육과 학술연구 및 산림사료 또는 유전자원의 보존 전시를 위하여 산림 안에 조성하는 시설을 말한다.⁸⁾ 산림욕장(forest park)은 국민의 건강증진을 위하여 산림 안에서 맑은 공기를 호흡하고 집속하며 산책 및 체력단련 등을 할 수 있도록 조성한 산림(시설과 그 토지를 포함한다)을 말한다.⁷⁾ 도시공원(city park)은 도시지역에서 도시자연경관을 보호하고 시민의 건강·휴양 및 정서생활을 향상시키는 데에 이바지하기 위하여 설치 또는 지정된 공원을 말한다.⁹⁾

2. 분석항목

피톤치드의 주성분인 테르펜류(모노페르펜) 중 이번 조사항목 5종류의 특성은 Table 2와 같다. 피톤치드에 속하는 성분은 수백 가지에 이를 정도로 다양하지만 본 연구에서는 선행연구 자료를 바탕으로 산림지역에서 많이 배출되는 5종류를 선정했다. 모노테르펜 표준물질은 fluka, aldrich, supelco (95% 이

Table 1. Recreational forests selected for this study

Type	Study Year	Name	Location	Area (ha)*	Composition (y)*
Natural Recreation Forests	2014	Chukryong-san	Namyongju	779	1995
		kangssibong	Gapyeong	980	2011
		Yongin	Yongin	155	2009
	2013	Yoomyung-san	Gapyeong	869	1989
		Chukryong-san	Namyongju	779	1995
		Yongmoon-san	Yangpyeong	120	2005
Arboretum	2014	Mulhyanggi	Osan	34	2006
		Hwanghaksan	Yeoju	27	2011
		Mureungdowon	Bucheon	21	2013
	2013	Kwangreung	Pocheon	1,118	1999
		Mulhyanggi	Osan	34	2006
Forest Park	2014	Woori-flower	hwaseong	11	2010
		Gwanggyosan	Suwon	450	1991
		Gwanaksan	Anyang	136	1993
	2013	Cheonggyesan	Uiwang	51	2001
		Gureum-san	Kwangmyong	300	1996
		Sorae-san	Siheung	57	1992
City Park	2014	Morak-san	Uiwang	125	1991
		Hyowon park	Suwon	22	1967
		Bundangjungang	Seongnam	42	1990
		Bucheonjungang	Bucheon	12	1993

*<http://www.gg.go.kr/publicinformation>**Table 2.** Chemical characteristic of monoterpenes

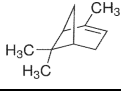
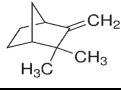
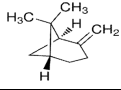
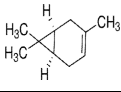
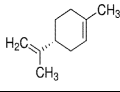
Component	CAS No.	Chemical formular	Chemical structure	Molecular weight	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Flash point (°C)	Density (g/cm ³)
(-)- α -pinene	7785-26-4	C ₁₀ H ₁₆		136.23	-64	156~158	33	0.858 (at 20°C)
camphene	79-92-5	C ₁₀ H ₁₆		136.23	48~52	159~160	40	0.850 (at 20°C)
(+)- β -pinene	19902-08-0	C ₁₀ H ₁₆		136.23	-61	164~165	36	0.872 (at 25°C)
(+)-3-carene	498-15-7	C ₁₀ H ₁₆		136.23	No data	170~172	55	0.864 (at 20°C)
(R)-(+)-limonene	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆		136.23	-95.2	176~177	48	0.842 (at 20°C)

Table 3. Operation conditions of the TD and GC/MSD for phytoncide analysis

TD condition	Tube desorb temp(°C)	250			
	Tube desorb time(min)	10			
	Split ratio	1:10			
	Trap concentration temp(°C)	-10			
	Trap Desorb temp(°C)	300			
	Trap Desorb time(min)	5			
GC condition	Column	VF-1ms (60 m × 0.250 mm × 1 μm)			
	Column flow(mL/min)	1.0 (for He)			
	Oven	Temp(°C)	rate(°C/min)	Hold(min)	
		initial	40	-	5
		ramp1	220	6	-
ramp2		290	20	10	
MSD condition	EI Auto(eV)	70			
	Source(°C)	Trap	Manifold	Xferlines	
		180	80	220	

상) 제품이며, 메탄올로 희석하여 혼합 표준용액을 조제하고 단계적으로 취하여 외부표준법으로 농도와 peak area의 관계를 나타내는 검량선을 작성하였다.

3. 시료채취

피톤치드를 포함한 공기시료는 고체흡착관법으로 Tenax TA tube의 흡착용량을 고려하여, 저용량 펌프(MP-Σ30, SIBATA, Japan)로 0.1 L/min의 유량으로 1시간 동안 총 6.0 L를 포집하였다. 시료는 하루에 2지역 4지점을 이동하면서 채취하였다. 시료 채취 높이는 산림욕을 즐기는 사람의 코 높이를 고려하여 지상 1.5 m에 샘플러를 설치하였고, 동시에 이동식 기상측정 장비(DWS-P5)와 휴대용 측정기(IQ-610Xtra)를 이용하여 시료채취 당시의 국지기상과 CO₂ 및 O₂를 측정하였다.

4. 분석방법

Tenax TA tube에 흡착된 피톤치드 성분들은 자동 열탈착기(Unity, Markes, UK)와 가스크로마토그래피-질량분석기(450GC-220MS, Varian, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건은 Table 3과 같다.

5. 통계분석

2013년부터 2014년까지 측정된 산림휴양지의 자료를 유형별, 항목별, 계절별로 분류하여 산림휴양지 유

형에 따른 테르펜류 항목별 농도와 계절별 농도, 그리고 총 테르펜류 농도를 산출하였다. 산림휴양지 유형별 테르펜류의 구성비는 유형별 총 테르펜류에서 차지하는 항목별 농도 비율로 산출하였고 계절별로 분류한 자료를 같은 방법으로 통계 처리하여 계절별 각 항목의 구성비를 산출하였다. 환경조건과 피톤치드의 상관분석은 통계프로그램 SPSS(v18)를 이용하였다.

III. 결 과

1. 산림휴양지 유형별 피톤치드 농도

2013년부터 2014년까지 매년 4월부터 10월까지 7개월 동안 년 4회씩 8회 측정된 결과 Table 4와 같다. 연평균 피톤치드의 농도가 가장 높은 산림휴양

Table 4. Annual average concentration of phytoncide in the recreational forests(g/m³)

	Natural Recreational forest	Arboretum	Forest park	City park
α-pinene	0.444	0.443	0.702	0.377
Camphene	0.203	0.150	0.236	0.109
β-pinene	0.180	0.244	0.403	0.239
Limonene	0.024	0.018	0.081	0.000
3-Carene	0.049	0.037	0.028	0.031
Total terpene	0.900	0.892	1.450	0.756

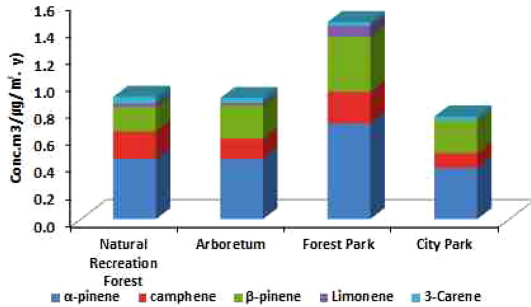


Fig. 1. Distribution characteristics of phytoncide of phytoncide in the recreational forests.

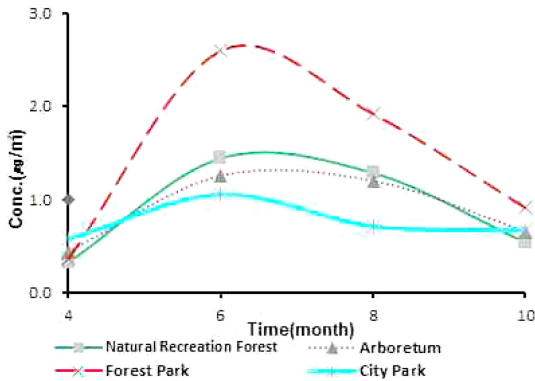


Fig. 2. Seasonal concentration of phytoncide in the recreational forests.

지 유형은 산림욕장으로 1.450 µg/m³를 나타냈으며 이 값은 가장 낮은 수목원(0.892 µg/m³)의 약 1.6배 수준이었다. 대조군인 도시공원은 0.756 µg/m³을 나타내 산림휴양지 보다는 약간 낮은 수준을 나타냈다 (Fig. 1). 이것은 송 등¹⁰⁾이 2013년 광고산 등산로 주변 22지점에서 조사한 연평균 농도 0.758 µg/m³(0.301~1.846 µg/m³)보다 높은 수준이며, 박 등³⁾이 충북 소재 자연휴양림에서 조사한 연평균 농도 3.030 µg/m³(1.432~4.237 µg/m³)보다는 낮은 수준이었다.

2. 계절별 농도

Fig. 2는 산림휴양지 유형별 피톤치드의 계절별 농도를 나타낸 것이다. 최고농도를 나타낸 계절은 6월이며 모든 유형의 산림휴양지에서 같은 양상을 나타냈다. 또 가장 높은 농도를 나타낸 산림욕장은 계절별 농도 차이가 크게 나타났으며, 자연휴양림 및 수목원은 농도 차이가 크지 않았고 변화 양상도 대조

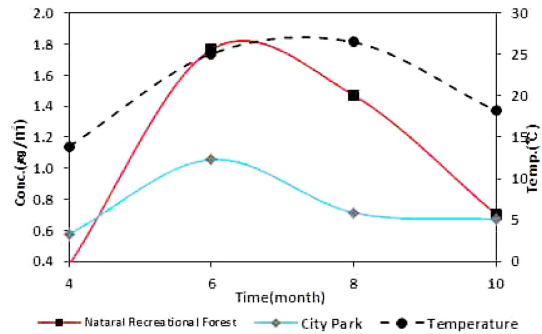


Fig. 3. Seasonal average concentration of phytoncide.

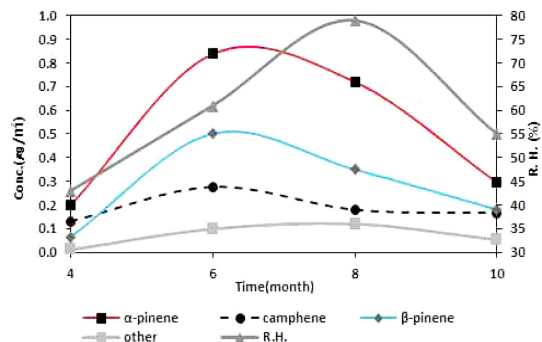


Fig. 4. Seasonal concentration of monoterpenes in the recreational forests.

군인 도시공원과 비슷하게 나타났다. Fig. 3은 산림휴양지와 도시공원의 피톤치드 농도를 계절별로 비교한 것이다. 최고 농도는 6월에 나타났으며 산림휴양지와 도시공원이 각각 1.767 µg/m³, 1.057 µg/m³을 나타내 산림휴양지가 약 1.7배 높은 것으로 나타났다. 대조군으로 조사한 도시공원은 4월 농도가 산림휴양지 보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 도시 중심부에 위치하고 있는 도시공원은 산림휴양지 보다는 기온이 일찍 높아지기 때문인 것으로 판단된다. Kong(2009) 등¹¹⁾의 조사 자료에 의하면 기온이 낮은 계절에 비해 여름철의 농도가 1.3~2.0배 높게 나타났다. 본 연구에서도 최고농도와 최저농도를 나타낸 계절적 차이는 약 4.7배 정도가 되는 것으로 나타났다. 기존의 연구에서도 피톤치드는 수목의 생육이 왕성한 시기인 초여름이나 여름의 더운 날씨에 발산되는 양은 겨울철에 비해 5~10배 정도 되는 것으로 보고되고 있다¹²⁾. 일반적으로 테르펜의 배출량은 나무에 따라 다소 차이는 있지만 침엽수의 경우

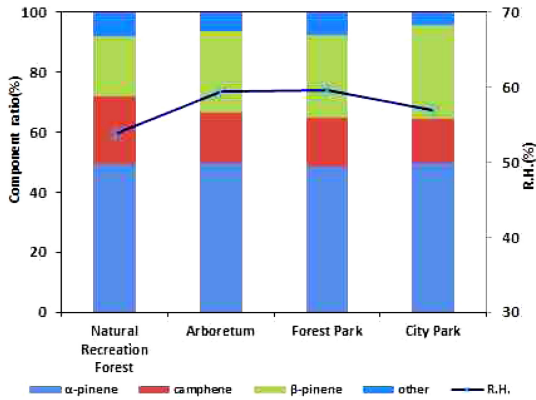


Fig. 5. Average component ratio of phytoncide in the recreational forests.

온도에 더 민감하며 활엽수는 온도보다는 일사량에 더 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다.¹³⁾ Fig. 4는 산림휴양지에서 측정된 피톤치드 성분을 계절별로 나타낸 것이다. 최고 농도를 나타내는 성분은 α-pinene이며, 다음은 β-pinene, camphene, limonene, 3-carene 순으로 나타났다. 습도 변화에 의한 성분별 농도변화를 비교한 결과 camphene은 습도가 증가하면 농도 증가율이 떨어지고 최고 습도에서는 감소율이 가장 커지는 것으로 나타났다.

3. 산림휴양지 유형별 피톤치드 성분 분포

산림휴양지에서 연간 검출된 피톤치드 성분은 α-pinene, camphene, β-pinene, limonene, 3-carene이며 구성비가 가장 높은 성분은 α-pinene이고 다음은 β-pinene이 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 침엽수에서 배출되는 테르펜 물질의 종류는 수십 가지에 이르지만 주로 배출되는 물질은 10여종에 이르는 것으로 확인되었고, 물질별로 배출량의 차이가 크게 나타나는 것으로 알려져 있다.¹³⁾ 지동영 등¹⁴⁾의 연구에서는 우리나라 소나무에서 배출되는 테르펜 물질은 α-pinene, camphene, β-pinene, limonene 등이며 α-pinene이 가장 높은 구성비로 배출되는 것으로 나타났다. 산림휴양지 유형별로는 습도가 높은 수목원과 삼림욕장에서 camphene의 구성비가 적고, β-pinene의 구성비는 높은 것으로 나타났다.

4. 계절별 피톤치드 성분 분포

산림휴양지의 계절별 테르펜 물질의 구성비는 Fig.

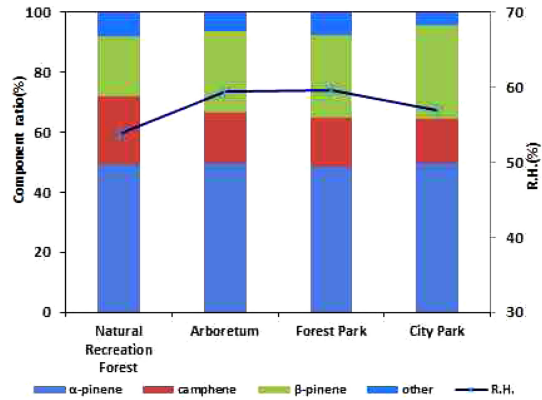


Fig. 6. Seasonal component ratio of phytoncide in the recreational forests.

6과 같다. 온도와 습도가 낮은 4월은 나뭇잎이 나오기 시작하는 계절로 테르펜 물질의 종류도 α-pinene, camphene, β-pinene 3 가지 뿐이었다. 기온과 습도가 오르면서 테르펜류의 종류도 늘어났으나 camphene의 경우 습도가 높을수록 농도가 낮아져 성분 구성비가 낮은 것으로 나타났다.

5. 환경조건과 피톤치드(테르펜류)와 관계

피톤치드 시료채취와 동시에 측정된 CO₂와 O₂ 및 기상요소와 테르펜류의 상관분석 결과는 Table 5와 같다. 총 테르펜류와 상관성이 높은 기상요소는 온도와 습도이며 CO₂와 O₂는 역상관 관계를 나타냈다. α-pinene은 온도와 가장 높은 상관성을 나타낸 성분으로 r=0.70(p<0.01)이며, 습도와는 0.60(p<0.01)을 나타내 온도와 습도 모두 높은 상관성을 나타냈다. camphene은 모든 환경조건과 유의한 상관성이 없는 것으로 나타났고, 습도와 가장 낮은 상관성을 나타

Table 5. Correlation of the environmental conditions and the monoterpene.

	CO ₂	O ₂	TEMP.	R.H.
Total Terpene	-0.10	-0.67**	0.68**	0.56**
α-pinene	-0.09	-0.68**	0.70**	0.60**
Camphene	-0.17	-0.34	0.31	0.18
β-pinene	-0.04	-0.65**	0.66**	0.47*
Limonene	-0.17	-0.43*	0.41**	0.46*
3-Carene	0.23	-0.28	0.30	0.41*

* : Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)

** : Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

냈다. 온도와 가장 낮은 상관성을 나타낸 물질은 3-carene이며 유의성은 없는 것으로 나타났다. 지동영 등은¹⁴⁾ 소나무와 잣나무에서 배출되는 α -pinene, β -pinene과 온도와의 상관성을 분석한 결과 $r^2=0.6$ 이하의 낮은 상관성을 보였으나, 본 연구에서는 온도와 습도 모두 비교적 높은 상관성을 나타냈다.

IV. 고 찰

1. 산림휴양지 피톤치드 농도 비교

피톤치드의 주요 발생원이 침엽수라는 것을 감안하면 본 연구의 조사대상 지점인 산림휴양지는 비교적 소나무 등 침엽수가 주종을 이루는 산림으로 대조지역인 도시공원 보다는 높을 것으로 예측되었으나, 수목원과 자연휴양림 같은 일부 휴양지는 도시공원과 비교하여 농도 차이가 없음을 알 수 있었다. 이것은 자연휴양림은 숙박이 가능하고 자동차의 출입이 자유로워 여름철 휴양객의 취사와 자동차 배가스 등으로 인한 NO_2 , CO_2 , O_3 , 등이 피톤치드 농도를 감소시키며, 실제 일부 이중결합(C=C)을 포함하는 테르펜류는 산소, 오존 및 이산화질소와 같은 산화제에 의해 이차 물질인 저분자 알데히드 및 지방산을 형성하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 또 내방객의 관람을 목적으로 하는 수목원은 특성상 조경수와 활엽수가 주요 수종으로 식재 되어 있기 때문으로 판단된다. 또한 산림지역에서 우점하는 수목의 종류와 피톤치드를 측정하는 계절적 시기, 환경조건 등에 따라 농도의 차이가 현저하게 나타나는 것으로 알려져³⁾ 있어 지역별로 단순히 비교하는 것은 많은 오류가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 단일지역의 농도보다는 산림휴양지 유형별로 3지역의 평균농도를 사용하였다.

본 연구에서 가장 높은 농도를 나타낸 산림욕장은 $1.450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 가장 낮은 수목원은 $0.892 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타냈다. 이것은 송 등¹⁰⁾이 2013년 광교산 등산로 주변에서 조사한 연평균 농도 $0.758 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.301 \sim 1.846 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 수준이며, 박 등³⁾이 충북 소재 자연휴양림에서 조사한 연평균 농도 $3.030 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1.432 \sim 4.237 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다는 낮은 수준이었다. 또 계절별 농도차이가 심하게 나타나는 것은 식생에서 배출되는 BVOCs(biogenic volatile organic compounds)의 배출량이 환경 대기 중에서 유효 광합성량(photosynthetically active radiation, PAR)과 온도에 매

우 밀접한 관계를 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 손 등이¹⁵⁾ 연구한 결과에 의하면 PAR의 증가에 따라 BVOCs 배출량이 최대 10배 증가하는 것으로 나타났다. 또 최근 연구결과에 따르면 수종에 따른 모노테르펜의 빛 의존성이 보고되고 있다.¹⁶⁾ 본 연구결과에서도 산림휴양지에서 6월 이후 피톤치드 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 6월 이후 8월까지 기온은 상승하지만 우기가 시작되면서 강수일이 많고 흐린 날씨 영향으로 PAR이 감소하기 때문이다. 따라서 산림대기 중의 피톤치드 농도는 온도의 영향도 받지만 빛의 영향도 무시할 수 없는 것으로 판단된다.

2. 산림휴양지 피톤치드 성분 분포

피톤치드 성분 중 camphene은 α -pinene과 β -pinene 등 다른 테르펜류에 비해 녹는점이 높기 때문에 상온에서 고체 상태로 존재할 확률이 높다. 따라서 상대습도가 높은 여름에는 입자상의 camphene이 다른 테르펜류에 비하여 대기 중에서 잔류할 수 있는 확률이 낮기 때문에 습도가 높을수록 성분구성비가 낮아지는 것으로 판단된다. 또 계절적 특성과 동일하게 지역적으로도 습도가 높은 지역에서는 피톤치드 성분 중 camphene의 구성비가 낮아지는 것으로 판단된다. 이러한 NVOCs(natural volatile organic compounds) 성분들의 배출기여도는 식물의 종류와 외부환경조건에 의해서 현저히 변화될 수 있다. 예를 들어, 유효 광합성량과 온도에 의해서도 그 배출량이 상당 수준 변화할 수 있다는 것이 확인되었다.^{17,18)} 모노테르펜은 주로 침엽수에서 배출되는데 수종별 차이를 제외하고 온도, 습도, 빛, 등의 많은 환경 변수에 의해서 배출량이 영향을 받으며 계절변화에 대해서도 영향을 받는 것으로 알려지고 있다.¹⁹⁾

V. 결 론

산림휴양에 유용한 물질인 피톤치드의 분포특성을 조사하여 산림치유에 필요한 과학적이고 효과적인 정보를 제공하고 환경적 영향에 대한 연구를 통해 산림 휴양지의 활성화 및 행복한 삶을 추구하기 위한 방안을 수립하고자 연구를 실시한 결과 산림휴양지 피톤치드 연평균 농도가 가장 높은 휴양지는 산림욕장으로 $1.450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈으며, 이 값은 가장 낮은 수목원($0.892 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 약 1.6배 수준이었다.

또 농도가 가장 높은 계절은 6월이며 산림욕장은 모든 계절에 걸쳐 농도가 가장 높은 휴양지로 조사되었다. 산림휴양지에서 검출된 피톤치드 성분은 α -pinene, β -pinene, camphene, 3-carene, limonene이며 구성비가 가장 높은 성분은 α -pinene이고 그 다음은 β -pinene이 높은 것으로 나타났다. 계절별 피톤치드 성분은 α -pinene, camphene, β -pinene 3종류가 4월부터 온도와 습도가 높아짐에 따라 농도가 증가하여 6월에 최고치를 보였다가 이후 점점 낮아지는 경향을 보였고, camphene은 습도가 높을수록 총 테르펜류에서 차지하는 구성비가 낮아지는 것으로 확인되었다. 총 테르펜류와 상관성이 높은 기상요소는 온도와 습도이며 CO₂와 O₂는 역상관성을 나타냈다. 산림치유에 유용한 물질인 피톤치드 정보를 숲을 이용하는 국민들에게 정확히 제공하려면 많은 조사와 연구가 필요하며, 본 연구와 같이 피톤치드의 분포를 조사하는 기초적인 연구에서 좀 더 진화하여 보다 세밀하고 체계적인 연구의 필요성이 요구된다고 하겠다.

감사의 글

본 연구는 동남보건대학교 연구비 지원에 의하여 수행된 것이다.

References

1. Yeom JH, Direction and challenges of forest therapy Policy. *Journal of national forestry cooperative federation*, 2009; 12: 38-41.
2. Park DK, Shin PS, Jeon BJ, Kim CY, Kweon OK, Suk TG. Distribution characteristics of phytoncide(monoterpene) in the recreation forests in Chungcheongbuk-do. *Chungbuk Institute of Health Environment*. 2010; 19: 87-115.
3. Lee HY. The characteristics of temporal and spatial distribution of ambient air ozone concentration in Jeju island. Cheju: Cheju national university; 2007.
4. Kim UH, Kim YU. Phytoncide extraction and processing technologies and current status. *Dyeing and Finishing*, 2010; 5(1): 71-82.
5. Yokouchi Yoko, VOC and the Global Environment, Japan: NIES Research Booklet; 2011. p.4-9.
6. Hirano H, Miyazaki Y, Kagawa D, Imai M, Tsunetsugu Y, Furutani K, et al. Japan: Test text forest health guidance to forester - forest therapist, fir forest; 2011.
7. Korea Forest Service. Forestry Culture and Recreation Act. Korea: Ministry of Government Legislation; 2014.
8. Korea Forest Service. Arboretum Act. Korea: Ministry of Government Legislation; 2014.
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. City parks and Green spaces Act. Korea: Ministry of Government Legislation; 2013.
10. Song IS, Jung BH, Kim JK. The distribution characteristics and emission amount of phytoncide in the Mt. Gwanggyo-san, *J. of Korean Society of Environmental Technology*. 2013; 14(4): 269-277.
11. Kong NS, Choi HS, Byun JH, Park JS, Choi JY, Lee HY, et al. A research on phytoncide concentration in the forest areas for a recreation. *The Report of Kyeongsangnam-Do Institute of Health and Environment*. 2009.
12. Wolkff P, Clausen PA, Wilkins CK, Nielsen GD. Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures, *Indoor Air*. 2000; 10: 82-91.
13. Kim JC, Hong HJ, Gang HC, Sun WY, Kim KJ, Lim JH. (2003), Comparison of monoterpene emission rates from conifers, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2003; 20(2): 93-94.
14. Ji DY, Kim SY, Han JS. A 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*. 2002; 18(6): 515-525.
15. Son YS, Hwang YS, Sung JH, Kim JC. Variation of BVOCs Emission Characteristics according to Increasing PAR. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2012; 28(1): 77-85.
16. Dominguez-Taylor P, Ruiz-Suarez LG, Rosas-Perez I, Hernandez-Solis JM, Steinbrechera R. Monoterpene and isoprene emission from typical tree species in forest around Mexico City. *Atmospheric Environment*. 2007; 29(21): 2977-2988.
17. Arey J, Crowley DE, Crowley M, Resketoa M, Lester J. Hydrocarbon emissions from natural vegetation in California's south coast air basin. *Atmospheric Environment*, 1995; 41: 2780-2790.
18. Guenther A, Monson R. Fall R. Isoprene and monoterpene emission rate variability: observations with eucalyptus and emission rate algorithm development. *J. Geophys. Res.* 1991; 96: 10799-10808.
19. Owen S, Boissard C, Street RA, Duckham SC, Hewitt CC. The BEMA-project: screening of 18 Mediterranean plant species for volatile organic compound emission, *Atmospheric Environment*. 1997; 31: 101-117.