

ORIGINAL ARTICLE

국립백두대간 수목원의 터펜(terpene)류의 발생특성

이해근 · 백하주 · 김정진¹⁾ · 김영훈^{2)*}

경상북도 보건환경 연구원, ¹⁾안동대학교 지구환경과학과, ²⁾안동대학교 환경공학과

Terpene Emissions from BackDooDaeGan Forest

Hae-Geun Lee, Ha-Ju Baek, Jeong-Jin Kim¹⁾, Young-Hun Kim^{2)*}

Gyeong Sang Buk-Do Government Public Institute of Health and Environment, Yeongcheon 38874, Korea

¹⁾Department of Environmental Earth and Science, Andong National University, Andong 36729, Korea

²⁾Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea

Abstract

Forests are valuable natural resources for people living around the mountains. In particular, the comfortable feeling or healing is one of the most important benefits obtained from forests. This healing can be possible by many aspects of forests, including the landscape, natural sounds, anions, and pleasant aromas. We focused on the volatile organics from forest causing pleasant aromas, phytoncides. Twenty phytoncides were monitored from February to September in a national tree garden (BaekDoDaeGan SooMokWon). Five sites were monitored two times per month and 20 phytoncides were detected. Borneol showed the highest annual average concentration and the order of concentration was borneol > mycene > sabinene > limonene > α -pinene. The average phytoncide concentration was relatively high in spring and summer season when the trees were physiologically active. Daily monitoring showed that the afternoon hours had higher concentrations of phytoncides than the morning hours, which may be due to the stabilized atmospheric conditions at the sites. Among the five sites, coniferous forests gave higher phytoncide emissions than broadleaf tree forests. The current study showed that forests produce several phytoncides that cause a healing effect and a forest bath may be beneficial to the health of visitors to forests.

Key words : Phytoncide, Healing, Forest, Tree garden, Terpene

1. 서론

휘발성 자연기원 유기물질은 대기중으로 방출되는 전체 휘발성물질 가운데 차지하는 비율이 상당할 뿐 만 아니라 질소산화물과 함께 대기오염의 광화학반응에 참여하며 오존 등 2차 오염물질을 생성하는데 기여한다. 도심에 있는 숲은 시민들에게 매우 유익한 면이 많지만

대기오염물질의 생성에도 일부 기여하는 것이 사실이다 (Prendez et al., 2013; Khedive et al., 2017). 터펜류는 식물에서 생산되는 지방족 휘발성 물질이며 일반적 화학식은 $(C_5H_8)_n$ 이다. 터펜류는 지용성이며 식물이 세균 등으로부터 보호하기 위해 스스로 생성하여 방출하는 향균, 향산화물질이며 종류가 매우 다양하여 총 20,000여 종이 넘는 것으로 알려져 있다(Connolly et

Received 19 October, 2022; Revised 26 November, 2022;

Accepted 29 November, 2022

*Corresponding author : Young-Hun Kim, Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea
Phone : +82-54-820-5818
E-mail : youngkim@anu.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.

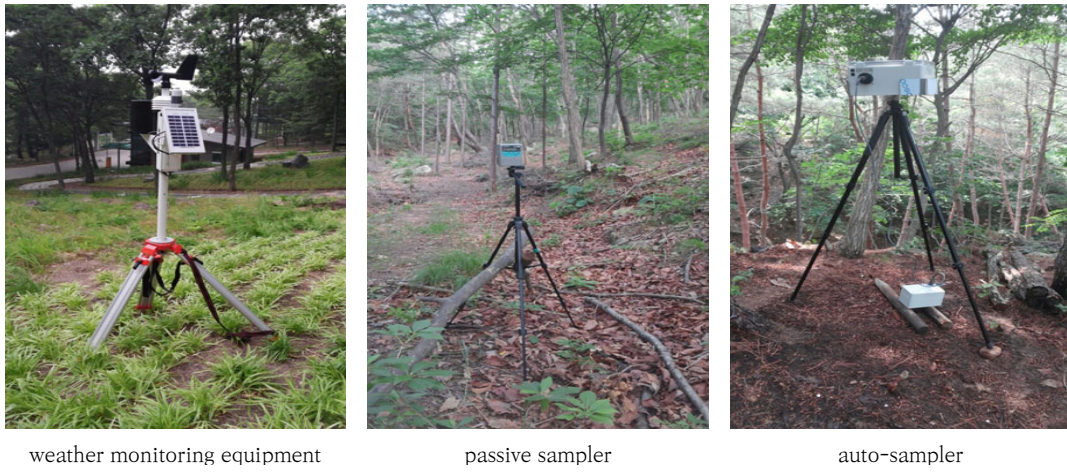


Fig. 1. Sampling equipments.



Fig. 2. Sampled site (map from homepage of Baekdoodaegan).

al., 1991). 식물이 곤충이나 미생물 등으로부터 자기 방어를 위해 방출하는 물질로 살충 및 살균성이 있어 피톤치드(phytoncide)로 불리기도 한다. 휘발성 자연유기 물질이 대기오염에 기여하는 것과는 반대로 터핀류는 숲에서 발생되며 숲에 있는 사람들에게 정신적 안정감을 주고 스트레스 해소에 도움이 되며, 쾌적감을 주고, 향균 등의 효과도 기대할 수 있어 정신적, 신체적 치유능력이 있는 것으로 알려져 있다. 삼림욕 등으로 인해 피톤치드에 노출되고 인해 인체에 미치는 치유효과에 대한 논문이 발표되고 있다(Kim et al., 2007; Lee et al.,

2011; Lee et al., 2012) 최근 국내연구에 의하면 피톤치드 물질은 치주질환과 구취를 유발하는 원인균인 *P. gingivalis* 에 대해 항균효과가 있으며(Kim et al., 2007) 아토피성 피부염에도 효과가 있을 것으로 보고되었다(Kim et al., 2015).

국내외에서 숲에서 발생하는 터핀류의 조사에 대한 연구가 다수 발표되었다(Yatagai et al., 1995; Vallat et al., 2005; Oh et al., 2012; Kim et al., 2013; Song et al., 2013; Flores et al., 2015). Oh et al.(2012)은 전남지역의 숲길에서 모노테르펜류의 농도를 봄, 여름, 가을

Table 1. Sampling sites and characteristics of the sites

Location	Trees	Longitude and Latitude	Altitude(m)
Manbyungcho	Japanese Larch(Larix leptolepis Gordn)	n37°00'14.93". e128°48'34.89".	561
Amseokwon	White virch, Mongolian oak, Oriental oak, Pine tree	n37°00'12.43". e128°48'43.07".	548
Gosansoepwon	Alnus hirsuta, Alnus hirsuta	n37°00'02.94". e128°48'34.89".	604
Pojawon	Korean White pine, Japanese Larch(Larix leptolepis Gordn)	n37°00'15.92". e128°49'01.53".	521
Horangisooop	Aralia, Pine tree	n37°00'18.24". e128°49'25.54".	484

Table 2. Weather information at the sampling date in Baekdoodaegan forest

DATE	T_AIR (°C)	HUM (%)	WDIR (°)	WSPD (m/s)	WS_MAX (m/s)	SRAD (W/m ²)	RAINF (mm)
2017-02-16	6.4	83.0	272.9	3.2	4.6	554.8	1.5
2017-02-27	1.3	78.8	217.1	1.7	2.2	728.9	0.0
2017-03-16	5.1	48.5	203.0	1.7	2.4	818.3	0.0
2017-03-30	6.6	84.0	120.0	1.3	1.8	378.7	0.6
2017-04-11	8.0	62.9	179.9	1.8	2.6	699.8	1.4
2017-04-17	9.6	71.9	228.1	1.9	2.6	754.0	0.3
2017-05-16	11.4	72.1	197.2	1.9	2.7	715.3	1.1
2017-05-31	14.4	75.1	201.1	1.5	2.1	739.3	6.9
2017-06-19	23.2	66.6	206.2	1.5	2.0	638.1	0.6
2017-06-26	21.6	78.4	192.4	1.3	1.7	727.9	8.5
2017-07-13	23.2	80.3	205.5	1.6	2.2	740.5	6.7
2017-07-27	25.2	81.7	171.3	1.2	1.7	784.6	6.0
2017-08-10	24.9	83.1	120.9	0.7	0.9	773.6	29.3
2017-08-23	24.4	90.4	155.3	1.1	1.6	467.0	38.3
2017-09-20	22.9	71.7	85.9	0.5	0.7	386.1	0.0
2017-11-09	17.4	74.8	145.4	1.1	1.4	448.9	0.3

등 3계절에 분석하였으며, Song et al.,(2013)은 광교산에서 월별 및 시각별 피톤치드 농도를 측정하였으며 침엽수 지역이 활엽수지역에 비해 농도가 높게 나타난다고 보고하였다. Kim et al.,(2013)은 서귀포 자연휴양림 지역의 피톤치드 분포 특성을 연구하였으며 침엽수인 편백숲 동산에서 여름철에 피톤치드 농도가 최대 1,441 pptv 로 가장 높게 검출되었으며 계절별로는 여름 > 가을 > 봄 > 겨울의 순으로 보고하였다. 성분별로는 편백나무 숲에서 sabinene(25%), d-limonene(20%), α -pinene(15%)인 반면 생태탐방로에서는 α -pinene이 27%로 주요 성분인

것으로 보고하였다. 해외연구자들도 터펜 및 식물성 휘발물질의 생성과 생성에 미치는 강우, 습도, 온도 등의 인자에 대해 연구결과를 발표하였다(Yatagai et al., 1995; Vallat et al., 2005; prendez et al., 2013; Llusia et al., 2013; Khedive et al., 2017). Vallat et al.,(2005)에 의한 연구에서 사과나무 가지에서 발생하는 터펜류와 휘발성 물질인 a-pinene, camphene, b-pinene, limonene, b-caryophyllene, (E,E)-a-farnesene, 등에 대한 조사 결과 습도와 양의 영향관계를 보여주며 온도도 영향을 미치는 것으로 보고하였다. Helmig et

Table 3. Analytical Condition of Thermal Desorber and GC/MS

Thermal Desorber (Perkin Elmer, ATD TurboMatrix 650)	Column Flow	: 1.5 mL
	Desorb Flow	: 50 mL/min
	Time	: 10 min
	Tube Temp.	: 300 °C
	Valve Temp.	: 250 °C
	press.	: 9.6 psi
	Transferline Temp.	: 240 °C
	Cold trap Low Temp.	: -30 °C
	High Temp.	: 300 °C
	Purge time	: 10 min
	Holding time	: 5 min
	Heating rate	: 40 °C/sec
	Outlet Flow	: 15 mL/min
GC/MS (Perkin Elmer Clarus-680, Clarus SQ8T)	Column	: Elite-5MS, 60 m, 0.32 mm, DF 1 m
	Oven Temp. ramp	: 40 °C(5 min) → 8 °C/min → 250 °C(4 min)
	Interface Temp.	: 250 °C
	Mass Source Temp.	: 280 °C
	Mass Range	: 50 ~ 350 amu
	Ionization mode	: EI
	Detector type	: EM (Quadrupole)
	Electron energy	: -70 eV

al.(2013)에 의한 연구에 의하면 계절적 영향이 터펜류의 생성에 큰 인자이지만 모든 나무에 같은 영향을 미치는 것은 아니며 수종과 다른 인자를 동시에 고려하여야 한다고 하였다. 터펜류의 발생에 계절이 영향인자인 것은 다수의 선행연구에서 보고되었으며 계절별로 생산되는 우유에 포함된 터펜류의 분석에서도 계절별 터펜의 함류량에 차이가 보였으며 산지지역과 우리안에서 길러진 소에서 생산된 우유의 터펜 함량의 차이가 있음이 보고되었다 (Borge et al., 2016).

본 연구의 대상지역인 경상북도 봉화군 춘양면에 위치한 국립백두대간수목원이 2017년 개장되었으며 수목원내부지역 중 수종과 위치 등을 고려하여 5개의 주요 지점을 선정하여 터펜류의 계절별, 시간별 발생 및 분포특성을 조사함으로써 국립백두대간수목원의 이용객을 위한 긍정적효과 입증 및 수목원에서 생산되는 휘발성자연유기물질의 연구를 위한 기초자료제공을 목적으로 하였다.

2. 실험재료 및 방법





















2.1. 시료 채취

시료채취는 국립백두대간수목원 5개지점(만병초원, 암석원, 호랑이숲, 고산습원, 포자원)을 선정하여 2017

년 2월부터 9월까지 매월 3개 지점은 자동으로 24시간 동안 2시간 간격으로 100 ml/min의 유량으로, 2개 지점은 수동으로 14시~20시와 6시~14시에 2시간 간격으로 100 ml/min의 유량으로 1박2일에 걸쳐 시료를 채취하였다. 시료채취 기기 및 기상관측대는 Fig 1에 시료채취 지점은 Fig. 2에 나타내었다. 시료채취기간동안에 측정된 기상상태는 Table 2에 요약하였다.

현장에서의 시료채취는 흡착트랩법을 이용하였으며 사용된 흡착트랩은 MARKES사의 'Tenax TA' 및 Perkin Elmer사의 'Air Toxics' 스테인리스스틸 흡착 튜브이다. 흡착트랩은 시료채취 전 320°C에서 2시간 동안 99.999%의 질소가스로 퍼지하면서 컨디셔닝 (KNR APK 1200 Tube conditioner, KOREA)시킨 후 사용하였다. 시료채취는 시간조정 가능한 연속튜브 흡착장치(STS 25 Perkin Elmer, USA)를 삼각대에 고정하고 수평상태에서 실시하였으며, 정량펌프 (SIBATA Σ30 mini pump, Japan)를 이용하여 100 ml/min의 유량으로 시료를 채취했다. 시료채취 시간에 맞추어 기상측정장치(PortLog RainWise, USA)도 24시간 가동하였다. 시료채취 튜브는 자동열탈착장치 (ATD Turbo Matrix 650, USA)를 통해 GC/MS (Perkin Elmer Clarus 500, USA)를 이용하였으며, 시료채취높이는 일반 성인들의 호흡높이로 여겨지는 1.5 m정도를 유지하였다.

Table 4. Structure of selected isoprene, monoterpene, and sesquiterpenes

Component	CAS No.	Chemical formular	Chemical structure	Molecular weight	Melting point °C	Boiling point °C	Flash point °C	Density g/cm ³
α -Pinene	80-56-8	C ₁₀ H ₁₆		136.24	-63	155	33	-
Camphene	79-92-5	C ₁₀ H ₁₆		136.24	46	160	26	0.84 (at 20°C)
Sabinene	3387-41-5	C ₁₀ H ₁₆		136.24	-	164	37	0.84 (at 20°C)
Myrcene	123-35-3	C ₁₀ H ₁₆		136.24	> -10	167	37	0.79 (at 25°C)
β -Pinene	127-91-3	C ₁₀ H ₁₆		136.24	-62	158	31	0.86
α -phellandrene	99-83-2	C ₁₀ H ₁₆		136.24	< 25	186	42	0.85 (at 25°C)
α -Terpinene	99-86-5	C ₁₀ H ₁₆		136.24	<25	175	-	0.83 (at 20°C)
p-Cymene	99-87-6	C ₁₀ H ₁₄		134.21	-68	176	47	0.86 (at 25°C)
Limonene	138-86-3	C ₁₀ H ₁₆		136.24	-95	176	45	0.85
Eucalyptol	470-82-6	C ₁₀ H ₁₈ O		154.25	2.9	177	-	0.92
γ -Terpinene	99-85-4	C ₁₀ H ₁₆		136.24	-10	183	-	1.50 (at 20°C)
γ -Terpinolene	586-62-9	C ₁₀ H ₁₆		136.24	< 25	186	37	0.86 (at 20°C)
Camphor	76-22-2	C ₁₀ H ₁₆ O		152.3	174	209	66	0.99 (at 25°C)
Borneol	507-70-0	C ₁₀ H ₁₈ O		154.25	210.5	212	66	1.01 (at 20°C)
α -Terpineol	98-55-5	C ₁₀ H ₁₈ O		154.25	37	220	91	0.94 (at 20°C)
Methylthymol	1076-56-8	C ₁₁ H ₁₆ O		164.24	-	216	-	0.94 (at 25°C)
Thymol	89-83-8	C ₁₀ H ₁₄ O		150.21	49	233	104	0.97
Caryophyllene	87-44-5	C ₁₅ H ₂₄		204.35	<25	262	106	0.90 (at 20°C)
Humulene	6753-98-6	C ₁₅ H ₂₄		204.35	-	276.3	110	0.80
Asarone	494-40-6	C ₁₂ H ₁₆ O ₃		208.26	62	296	-	1.03

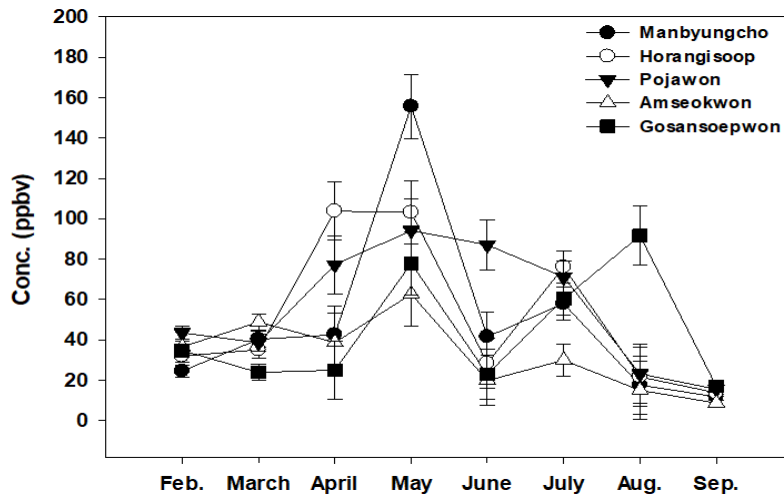


Fig. 3. Monthly averaged total phytoncide at the 5 sampled points.

2.2. 분석방법

수목에서 배출되는 정유 중에 가장 많이 함유되어 있는 대표적인 terpene 물질인 α -Pinene, β -Pinene, Camphene, Sabinene, Myrcene, Phellandrene, α -Terpinene, p-Cymene, Limonene, Eucalyptol, γ -Terpinene, γ -Terpinolene, Camphor, Borneol, α -Terpineol, Methylthymol, Thymol, Caryophyllene, Humulene, Asarone 을 분석하였다. 테르펜, 모노테르펜, 세스퀴테르펜의 분자구조를 Table 4에 나타내었다.

자동 열탈착장치는 시료튜브를 300°C, 밸브 9.6 psi 압력에서 250°C, 펠티어효과(Peltier effect) 전자냉각 방식을 이용한 자동 열탈착 장치의 내부 Cold Trap에서 시료를 -30°C로 강제 농축 후 40°C/sec의 승온조건으로 수초 내에 300°C로 고온 탈착하여 이송칼럼 온도 240°C 유지한 상태에서 시료를 GC(Claruss 680)/MS(Claruss SQ8T)로 보내어 분석하였다. 분석용 칼럼은 Elite(30 m × 0.25 mm)를 사용하였고 분석기기의 조건을 정리하면 Table 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 월별 및 시간별 피톤치드발생 특성(평균농도)

피톤치드(phytoncide)는 '식물'을 의미하는 'Phyton'과 '죽이다'를 의미하는 'cide'의 합성어로 식물에서 발생하는 살균, 살충, 기피, 등의 기능을 가진 물

질의 총칭이다. 주로 테르펜류와 페놀화합물로 본 연구에서는 테르펜류 위주로 조사 연구되었다. 이들 물질은 식물에서 분비되므로 식물의 생장 및 활성과 깊은 연관성을 가진다. 그러므로 이들 물질의 유출량과 종류는 식물의 생장환경과 직접적인 관계가 있을 수 있다. Fig. 3는 5개 조사지점에서 발생된 총 20종의 피톤치드 농도의 합으로 매월 2회조사의 평균을 각 월의 대푯값으로 표시하였다. 월별 피톤치드 발생농도를 살펴보면 지점별 차이가 있으나 일반적으로 5월에 최고값을 보이며 4-7월의 값이 비교적 높다. 이는 봄철과 여름철이 식물의 활성이 높아 식물에서 발생하는 피톤치드의 농도도 높은 것으로 판단된다. 이러한 경향은 선행연구에서도 유사하게 나타나고 있다(Helming et al., 2013; Kim et al., 2013; Park et al., 2013). 피톤치드를 포함한 삼림욕의 효과를 얻고자 하는 경우 봄과 여름철이 가장 효과적인 계절임을 알려준다. 타 지역이 봄, 여름과 가을의 경우에도 높은 피톤치드 농도를 유지하고 있는 반면 국립수목원은 가을의 평균기온이 타 지역에 비해 낮아 피톤치드 발생량도 봄과 여름에 비해 낮은 것으로 판단된다.

피톤치드의 발생량은 하루 중 시간별 차이가 있을 수 있으며 이는 일조량 및 기상여건과 연관이 될 수 있다. 강우, 풍속 등과 연관성이 있을 수 있어 5개 지점에서 매월 2회 측정된 자료를 평균값으로 나타내어 평가하는 것이 타당하다. Fig. 4는 5개지점에서 측정된 20개 피톤치드물질의 합을 각 시간별 평균값으로 나타낸 것으로

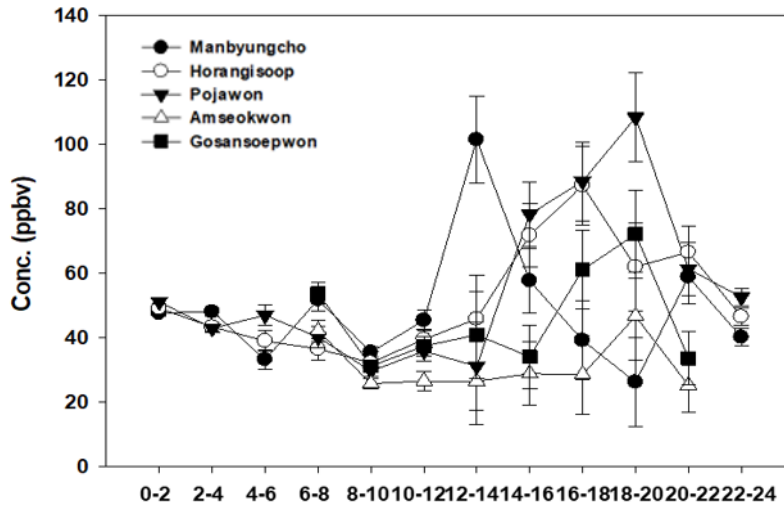


Fig. 4. Averaged total phytoncide concentration over 24 hours at the 5 sampled points.

하루 중 발생농도 편차가 비교적 크며 오전에 상대적으로 낮은 편이나 정오부터 점차 농도가 높아져 오후 2시 이후에는 오전에 비해 대략 2배의 농도값을 보이는 지점이 있으며 10 이후까지 상대적으로 높은 농도를 유지하고 있다. 각 지점별 편차는 지점별 지형특성도 있으나 지점별 수목의 종류가 달라 수목별 발생량에 의한 편차도 포함된 것으로 판단된다.

낮시간에 일사량이 많아 발생량도 높은 것으로 예상되지만 광분해 및 대기의 불안정으로 분산되어 희석효과가 있을 수 있다. 반면 밤의 경우 발생량은 비교적 적을 수 있으나 광분해에 의한 손실이 없고 대기가 안정되어 피톤치드물질이 지표에 상대적으로 긴시간 머무를 수 있을 있으며 이러한 현상은 선행연구에서도 보고되었다(Park et al., 2013).

3.2. 피톤치드 항목별발생 특성(평균농도)

국내외에서 수행된 피톤치드 발생에 관한 연구는 주로 10여종 내외의 피톤치드물질을 모니터링 하였으나 해외의 연구에서는 다수의 피톤치드물질을 모니터링하여 보고하고 있다. Ozgenc et al.,(2017)의 경우 90여종 이상의 다양한 피톤치드물질을 수종별로 모니터링하여 발표하였다. 본 연구에서는 20종의 피톤치드물질을 분석하였으며 5개지점의 평균값을 Fig. 5 에 나타내었다. 20개 항목에 대한 검출농도 순은 다음과 같다. 5

개지점에서 평균적으로 가장 높은 농도로 검출된 항목은 borneol이며 알코올기를 가진 피톤치드물질이며 국내에서는 모니터링되지 않은 물질이다. 암석원을 제외한 4개 지점에서 300 ppbv 전후로 검출되었다. Mycene과 sabinene 도 비교적 높은 농도로 검출되었으며 5개의 조사지점에서 큰 편차없이 100-130 ppbv 내외로 검출되었다. Mycene과 sabinene 은 국내 제주 및 충북지역을 대상으로 한 연구에서 비교적 높은 농도로 검출된 물질이다(Lee et al., 2012; Kim et al., 2013).

Limonene과 α -pinene이 그 다음 높은 농도로 검출되었으며 지점에 따라 편차가 있으나 20-80 ppbv 정도이다. Thymol, r-Terpinolene, Camphor, Caryophyllene 등이 그 다음 그룹으로 대략 30-40 ppbv 정도의 농도이다. 지점별 편차가 있으나 일반적으로 암석원에서 농도가 가장 낮다. b-Pinene, Methylthymol, Asarone, Cymene 등은 20-30 ppbv 정도의 농도를 보이고 있다. Humulene, r-Terpinene,은 15-20 ppbv 정도의 농도를 보이고 있으며 a-Terpinene, Eucalypto, a-Terpineol, Camphene, Phellandrene 등은 5-15 ppbv 정도의 농도로 조사된 20개 피톤치드 가운데 상대적으로 낮은 농도를 보이는 물질이다. 그러나 조사대상이 된 20개 피톤치드물질은 모두 5개 지점에서 검출되었으며 현재 국립수목원에는 최소 20개 이상의 피톤치드물질이 식물에 의해 방출되고 있다는 것을 증명하였다. 모든 시료채취 시

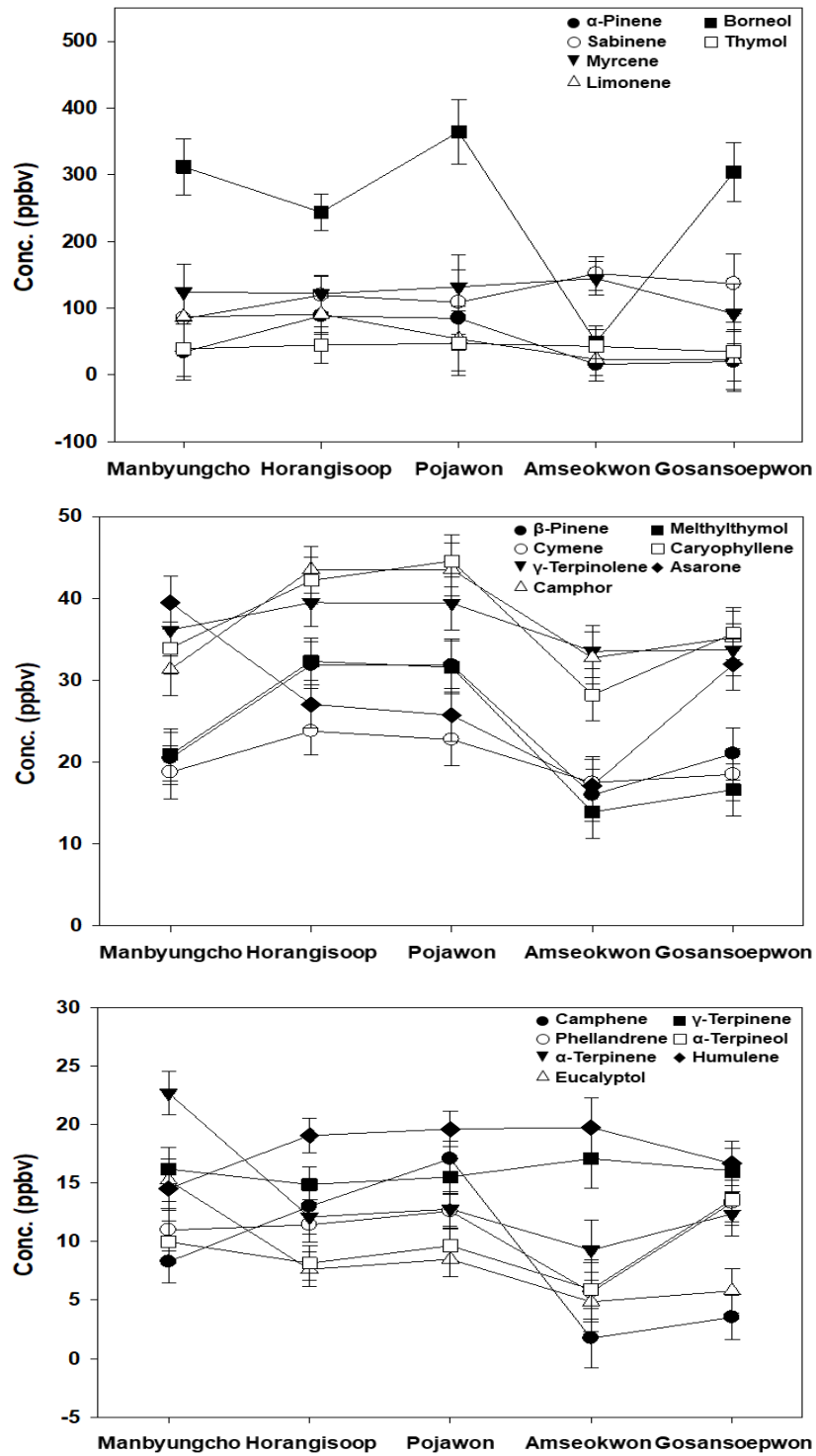


Fig. 5. Averaged concentration of 20 phytoncides at the 5 sampled points.

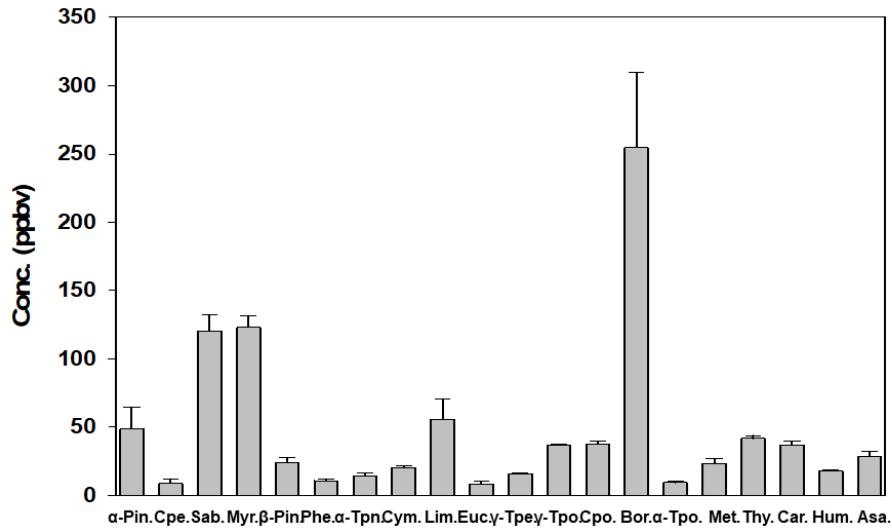


Fig. 6. Averaged each phytoncide concentration over the Baekdoodaegan area.

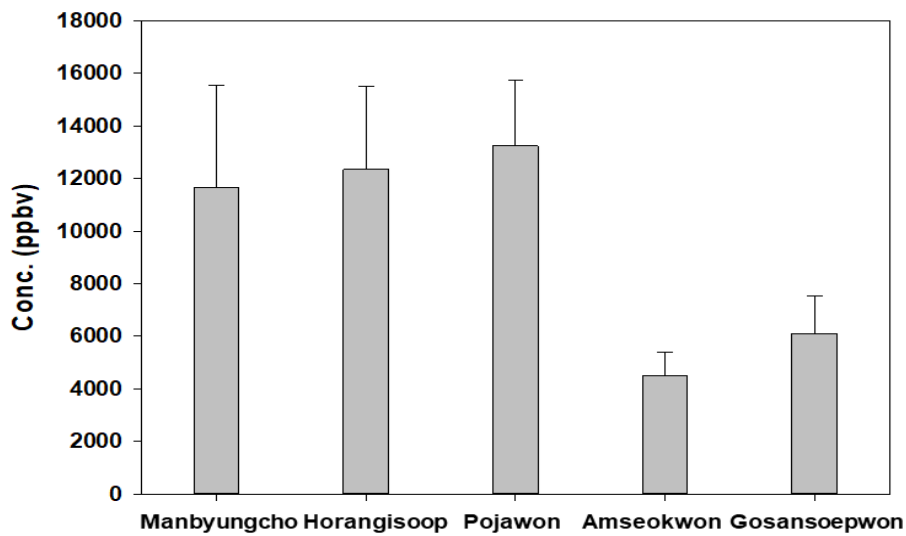


Fig. 7. Sum of averaged phytoncide concentration at the 5 sampled points.

점과 지점에 대한 평균으로 각 피톤치드의 농도와 평균 오차를 나타내면 Fig. 6과 같다. 위에서 설명한 바와 같이 높은 농도의 순으로 나열하면 Borneol > Mycene > Sabinene > Limonene > α-pinene > Thumol > Camphor > Caryophyllene > γ-Terpinolene > Asarone > β-Pinene > Methylthymol > Cymene > Humulene > γ-Terpinene > α-Terpinene >

Phellandrene > α-Terpineol > Camphene > Eucalyptol 이다.

3.3. 각 지점별 피톤치드 평균농도 특성

시료채취가 이루어진 5개 지점의 위치를 Fig. 2에 나타내었다. 5개 지점의 수종 및 특징을 Table 1에 설명

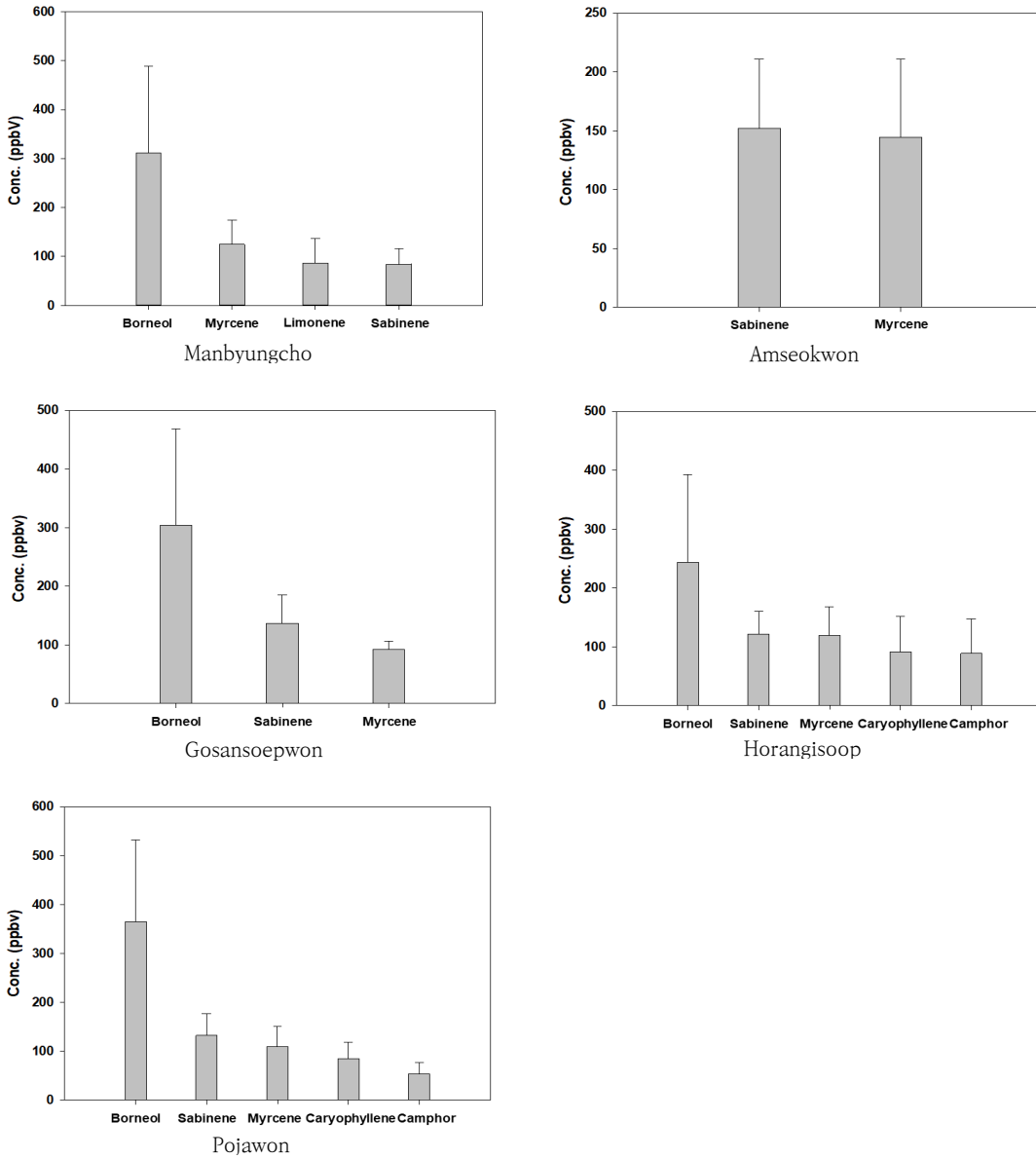


Fig. 8. Highly occurring averaged phytoncides at Each sampled points.

하였다. 5개 지점은 인접해 있으나 주변수종이 다르며 이에 따라 검출되는 피톤치드의 특성도 다를 것으로 기대된다. 각 지점별 피톤치드의 발생특성을 Fig. 7에 나타내었다. 각 지점별 높은 농도로 검출되는 피톤치드의 평균검출농도를 Fig. 8에 나타내었다. 만병초는 주변에 일본잎갈나무(낙엽송)이 주된 수종으로 겨울철에 낙엽이지만 봄여름의 경우 침엽수와 같은 특징을 가지고

있다. 만병초의 경우 Borneol이 최고 농도(평균 312 ppbv)로 측정되었으며 Myrcene 이 Borneol의 1/2 농도인 124 ppbv로 측정되었다.

암석원의 경우는 비교적 넓은 초원에 자작나무, 참나무 등의 활엽수와 참나무가 동시에 존재하는 지역이다. 피톤치드의 발생특성은 만병초와 다르며 Sabinene과 Myrcene이 주된 항목으로 검출되어 수종의 차이가 발

생되는 피톤치드의 종류에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 절대 농도에도 차이가 있다.

고산습원, 호랑이쉴, 포자원의 경우 주된 수종의 차이가 있으나 만병초와 유사하게 Borneol이 최고 농도로 검출되었으며 Myrcene와 Sabinene 이 유사한 경향으로 검출되었다. 이와 같은 결과는 Song et al., (2013)의 광고산에서 월별 및 시각별 피톤치드 농도측정결과 침엽수 지역이 활엽수지역에 비해 농도가 높게 나타난다고 보고한 것과 경향이 일치하며 Kim et al.,(2013)의 서귀포 자연휴양림 지역의 피톤치드 분포 특성연구에서 침엽수인 편백숲 동산에서 피톤치드 농도가 상대적으로 높게 측정된 것과도 유사하다.

4. 결론

경북북부지역에 위치한 백두대간 국립수목원에서 2월-9월 사이 매월 2회에 걸쳐 20여개 항목의 피톤치드에 대한 모니터링이 성공적으로 수행되었으며 주요 결론은 다음과 같다.

5개 지점 전체 평균값 기준으로 Borneol이 최고 농도를 보이며 그 외 19개 항목의 피톤치드가 농도의 차이는 있으나 검출되었다.

월별 발생특성은 선행연구결과와 유사하게 봄과 여름철의 농도가 가장 높으며 가을철의 농도는 상대적으로 낮다.

하루 24시간 농도변화는 지점별 차이는 있으나 오전보다 오후의 농도가 대체적으로 높은 편이다. 이는 낮 시간 발생량은 더 높을 것으로 기대되나 햇볕에 의한 분해와 확산으로 인한 손실 및 밤 시간 동안의 대기안정도 등이 기여한 것으로 판단된다.

각 지점이 완전히 분리되어 있지 않아 전체적으로 수목원지역의 영향을 받고 있으나 각 지점별 수종이 그 지역의 피톤치드 발생농도 및 발생항목에 영향을 미치고 있는 것으로 판단되며 침엽수가 주된 수종인 지역이 활엽수지역에 비해 높은 농도의 피톤치드를 발생시키고 있다.

국립수목원지역은 매우 다양한 피톤치드를 발생하고 있으며 수려한 자연경관과 함께 건강에 좋은 영향을 미칠 수 있는 자연-화학적 환경을 제공하고 있음을 본 연구결과에서 확인 할 수 있다. 향후 기후와 연관된 발생특성을 파악하여 최적의 삼림육조조건을 제공할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음

참고문헌

- Borge, G. I., Sandberg, E., Oyaas, J., Abrahamsen, R. K., 2016, Variation of terpenes in milk and cultured cream from Norwegian alpine rangeland-fed and in-door fed cows, *Food Chemistry*, 199, 195-202.
- Choi, B. Y., Lee, Y. J., Lim, Y. H., Kim, B. Y., Lee, C. T., 2015, Preparation of nanocapsules containing phytoncide, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 0, 373-373.
- Courtois, E. A., Baraloto, C., Timothy Paine, C. E., Petonelli, P., Blandinieres P. A., Stien, D., Houel, E., Bessiere, J. M., Chave, J., 2012, Differences in volatile terpene composition between the bark and leaves of tropical tree species, *Phytochemistry*, 82, 81-88.
- Helmig, D., Daly, R. W., Milford, J., Guenther, A., 2013, Seasonal trends of biogenic terpene emissions, *Chemosphere*, 93, 35-46.
- Khedive, E., Shirvany, A., Assareh, M. H., Sharkey, T. D., 2017, In situ emission of BVOCs by three urban woody species, *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 153-157.
- Kim, E. K., Lee, K. M., Choi, M. H., Kim, G. W., Jeong, D. W., Choi, Y. H., Yeom, D. G., Park, B. J., Kim, K. W., 2014, Comparison of Phytoncide Emission Volume in Saneum Recreational Forest and Soopchewon, *Proceedings of Korea Society Of Forest Science*, The-K Seoul Hotel, Seoul, 0, 253-353.
- Kim, H. J., Lee, Y. J., Lim, Y. H., Kim, B. Y., Lee C. T., 2015, Effects of wall materials in the manufacture of microcapsules containing phytoncide, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 0, 373-373.
- Kim, J. B., 2016, A Study on the characteristics of phytoncide generation in the trail forest of Geumbyeongsan, Sindong-myeon, Gangwon-do, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 0, 110-110.
- Kim, S. K., Shin, M. K., Uh, K. S., Lee, J. Y., Hong, J. P., Jeon, Y. H., 2007, Antimicrobial Effects of Phytoncide on *P. gingivalis*, *Journal of Oral Medicine and Pain*, 32, 137-150.
- Lee, B. K., Lee, H. H., 2012, A Study on the effects of human physiology after forest phytoncide therapy, *Journal of Naturopathy*, 1, 14-20.

- Lee, J., Park, B. J., Tsunetsugu, Y., Ohira, T., Kagawa, T., Miyazaki, Y., 2011, Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects, *Public Health*, 125, 93-100.
- Lee, J. S., Kim, H. S., Bae, I. S., Yun, J. S., Um, S. W., Chae, Y. J., 2011, Concentration characteristics of phytoncide in green space in large cities, *Proceedings of the Korean public health association, Korea institute of health and welfare human resources development, Osong Chungcheongbuk-do*, 0, 87-87.
- Lee, Y. J., Lee D. S., Lee C. T., 2016, Production of functional ampoule by the sustained release of phytoncide, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1, 231-231.
- Lee, Y. J., Lee D. S., Lee C. T., 2016, A Study on the influence of TiO₂ on the impregnated phytoncide microcapsules on sick building syndrome and Antibacterial Power, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1, 232-232.
- Lee, Y. J., Lee D. S., Lee C. T., 2016, Functional basalt mask pack containing phytoncide, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 0, 368-368.
- Llusia, J., Penuelas, J., Guenther, A., Rapparini, F., 2013, Seasonal variations in terpene emission factors of dominant species in four ecosystems in NE Spain, *Atmospheric Environment*, 70, 149-158.
- Oh, D. K., Choi, W. J., Heo, H., Kim, W. T., Kim, J. H., Yun, Y. H., 2016, Anion generation evaluation model according to the difference in green area arrangement form, *Journal of Environmental Ecology*, 26, 76-76.
- Oh, Y. H., Seo, Y. G., Park, G. H., Kim, I. S., Bae, J. S., Park, H. Y., Yang, S. I., Jeon, J. M., Jeong, M. H., Seo, Y. H., Lee, W. J., 2012, The characteristics of monoterpene and air quality of ambient air at forested road in Jeollanam-do, *Jour. Korean. For.*, 101, 195-202.
- Ormeno, E., Goldstein, A., Niinemets, U., 2011, Extracting, and trapping biogenic volatile organic compounds stored in plant species, *Trends in Analytical Chemistry*, 30, 978-989.
- Park, H. J., Yoo, B. K., Lee, J. Y., Ham, Y. S., Jeong, S. W., Byun, K. Y., Kim, S. H., Jeong, I. S., Lee, M. L., 2013, A Study on the phytoncide characteristics of the walking trail in Ulsan according to the season, *Journal of Environmental Science International*, 22, 1415-1419.
- Prendez, M., Carvajal, V., Corada, K., Morales, J., Alarcon, F., Peralta, P., 2013, Biogenic volatile organic compounds from the urban forest of the metropolitan Region, Chile, *Environmental Pollution*, 183, 143-150.
- Rosa, M. F., Paul, V. D., 2015, Estimating and terpenoid emissions from conifer oleoresin composition, *Atmospheric Environment*, 113, 32-40.
- Song, I. S., Jeong, B. H., Kim, J. K., 2013, Phytoncide generation and distribution characteristics of Gwanggyosan Mountain, *Journal of Environmental Technology*, 14, 269-277.

-
- Researcher. Hae-Geun Lee
Gyeong Sang Buk-Do Government Public Institute of Health and Environment
lhg7772@korea.kr
 - Researcher. Ha-Ju Baek
Gyeong Sang Buk-Do Government Public Institute of Health and Environment
baj1686@korea.kr
 - Professor. Jeong-Jin Kim
Department of Environmental Earth and Science,
Andong National University
jjkim@anu.ac.kr
 - Professor. Young-Hun Kim
Department of Environmental Engineering, Andong National University
youngkim@anu.ac.kr