J. Korean For. Soc. Vol. 103, No. 3, pp. 483~489 (2014)
http://dx.doi.org/10.14578/jkfs.2014.103.3.483

한국임학회지
JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY
ISSN 0445-4650(Print), ISSN 2289-0904(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

봄철 소나무숲의 NVOC 농도와 숲환경과의 상관관계

김건우 · 권치원 · 염동걸 · 정다워 · 최윤호 · 박범진*
충남대학교 산림환경자원학과

Relationship between NVOCs Concentration and Korean Red Pine (*Pinus densiflora S. et Z.*) Forest Environment in Spring Season

GeonWoo Kim, ChiWon Kwon, DongGeol Yeom, Dawou Joung, Yoon Ho Choi and Bum-Jin Park*
Department of Environment & Forest Resources Chungnam National University, Chungnam 305-764, Korea

요 약: 본 연구는 봄철 소나무숲의 NVOC 농도와 숲의 물리환경과의 상관관계에 대하여 과학적으로 밝히기 위한 목적으로 수행되었다. 소나무숲의 대기중 NVOC의 포집을 위해 2013년 3월부터 2013년 5월까지 총 5회의 실험을 진행하였으며 Tanax-Ta가 충진된 1회용 튜브와 미니펌프를 사용하여 포집하였다. 매회의 실험마다 일중시간동안 총 세 번의 시간(일출, 남중, 일몰)에 측정을 하였으며 오차를 줄이기 위하여 같은 지점에서 두 개의 튜브를 사용하여 측정 후 분석한 평균값을 사용 하였다. 포집된 NVOC 물질 분석은 HS-SPME법을 사용하여 GC-MS로 분석하였다. 봄철 소나무숲의 NVOC 농도와 숲의 물리환경과의 상관관계에 대하여 분석한 결과, α-pinene, β-pinene 등 대부분의 물질에서 온도, 이슬점이 높아질수록 농도가 높아졌으며 풍속이 클수록 농도가 낮아졌다. 본 연구에서 얻어진 자료들은 치유의 숲, 자연휴양림 조성 및 숲 환경에 대한 과학적인 근거를 제시함으로써 국민들의 건강증진과 여가활동에 유익한 정보로 사용 될 것이라 기대된다.

Abstract: This study aimed at a scientific examination of the relationship between NVOCs concentration and the physical environment of red pine forest in spring season. Atmospheric NVOC samples in red pine forest was collected through five trials conducted from March to May 2013, using Tanax-Ta-charged disposable tubes and mini-pumps. At each trial, measurements were taken at three different points in daytime (sunrise, southing and sunset). For maximum accuracy, two tubes were used for each measurement at the same location, and the mean value was used for analysis. Compound analysis on the NVOC samples was done using the HS-SPME method and GC-MS. Analysis of the relationship between NVOC and the physical forest environment found higher concentrations of most substances, including α-pinene and β-pinene, with higher temperature, dew point, and lower concentrations with higher wind velocity. The findings of this study offer scientific evidence which can inform the creation of 'healing forests' and 'recreational forests' as well as forest environment in general, helping to promote public health and recreational activities.

Key words: *NVOC, terpene, phytoncide, α-pinene,* Pinus densiflora*, HS-SPME*

서 론

과학기술의 발달과 더불어 성장위주의 개발로 인하여 자연환경과의 접촉이 거의 없어진 현대인들은 하루 중 80~90% 이상을 공기의 질이 악화된 실내의 인공 환경에 생활하고 있다. 현대인의 생활공간은 많은 종류의 건축 내・외장재가 사용되고 있으며, 특히 화학기술의 발달로 인하여 화학적 인공물질로 구성된 건축 재료의 사용이 나날이 증가하고 있다. 이러한 도시에서의 생활은 실내공간의 오염물질로 인한 각종 질환이 문제점으로 나타나기 시작하였다. AVOC(Anthropogenic VOC, 인위적 휘발성유기화합물)는 이러한 유해물질의 총칭이며 농도가 낮고 그 종류가 매우 다양하기 때문에 쉽게 검출되지 않으며 실내공기로 서서히 방출하여 실내환경 오염의 주요 원인이 되고 있다. VOC 물질이 인체의 건강에 미치는 영향은 아직도 명확하게 밝혀지진 않았지만 대부분의 물질 중 80%정도가 두통, 현기증, 메스꺼움 등과 같이 거주자의 건강을 크게 위협하며, 생산성과 능률의 저하를 초래하고 있는 실

*Corresponding author
E-mail: bjpark@cnu.ac.kr

정이다. 의료기술의 발달, 복지서비스의 향상으로 급성질환이 점차 사라지면서 현대인의 평균 수명은 늘어났지만, 생활습관병과 생활환경에 따른 환경성질환과 같은 만성질환이 새로운 문제점으로 부각되고 있다.

인간은 본래 자연친화적인 대상을 선호하는데 이것은 자연경관에 내포된 치유적 특성이 인간의 건강에 긍정적인 효과를 주기 때문이라 알려져 있다(Ulrich, 1993). 자연환경 중 숲이 인간에게 줄 수 있는 편익에 대한 실증적 연구 결과에 의하면 현대인들이 정신적, 육체적 고통을 당하는 것은 복잡한 도시 생활로 인하여 자연과의 접촉이 부족하기 때문이며, 숲이 휴식처와 같은 심리적 안정과 회복기능을 준다고 하였다(Kaplan and Talbot, 1983). 숲체험 프로그램 참여 후 우울감과 분노, 피로감, 혼란 등의 정서는 긍정적으로 변했다고 보고하였으며(Cho et al., 2011), 숲에서의 태교활동과 체류가 스트레스를 경감 시킨다는 연구도 발표되었다(Park et al., 2012). 또한, 숲경관을 감상할 때 피험자들의 수축기혈압과 심박변동성의 LF/(LF+HF)가 도시경관을 감상할 때와 비교하여 유의하게 낮게 나타난다 하였다(Park and Miyazaki. 2008). 숲의 쾌적한 환경 속에서의 캠프가 소아의 환경성질환을 호전시킨다는 연구 결과도 있었다(Yoo et al., 2011). 산림이 우거진 숲 속의 나무에서 발산하는 피톤치드(Phytoncide)는 공기중의 박테리아를 감소시키고, 접하였을 때 걱정감과 우울감이 줄어들며, 혈액순환과 혈압 유지를 도와준다고 하였다(Kawakami et al., 2004). 피톤치드는 신체에 자연스럽게 흡수되어 피부 자극, 피부 염증 방지, 소염 소독 작용, 신경 안정 및 면역기능을 강화 시켜주며(Li et al., 2006), 사람의 자연 살해세포(natural killer cell: NK)의 활성과 항암 단백질을 증가시키며 산림욕 후 7일까지 NK세포가 증가된다고 보고되었다(Li et al., 2008).

이처럼 숲이 인간에 미치는 심리적・생리적 영향의 연구결과는 서서히 증가하고 있고 건강을 목적으로 숲에서의 활동 및 장기체류를 하는 등 숲에 대한 사람들의 관심이 높아지고 있는 추세이다. 하지만, 숲의 어떠한 물질이 인간에게 긍정적인 작용을 미치는 원인이 되는지는 정확히 알려진 바가 없다.

숲내의 식물은 고유한 향기를 내며 공기중에 휘산되는데 이러한 물질이 NVOC(Natural VOC, 자연적 휘발성유기화합물)이다. 숲에서 발산되는 NVOC 중 테르펜은 피톤치드라 널리 알려져 있으며 주로 침엽수림에서 배출된다. 온도, 빛, 습도 등의 많은 물리환경인자에 의해서 그 배출량은 영향을 받으며, 계절변화에 대해서도 영향을 받는 것으로 알려지고 있으며(Owen et al., 1997), 미국과 유럽을 중심으로 해외의 경우 여러 수종에 대한 숲 밖에서의 대기중 VOC에 관한 연구들이 꾸준히 진행되어 오고 있다. 국내의 경우 인위적인 특성에 대한 자료는 몇 년 전부터 파악되고 있지만 자연발생적 NVOC의 특성에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이라 할 수 있다. NVOC의 배출량은 AVOC의 배출량을 초과하는 것으로 보고되었다(Guenther et al., 1995). 특히 우리나라의 경우 전국토의 64%가 산림이고 우리나라의 산림구조를 살펴보면 침엽수림이 전체 산림의 40.5%에 이르고 있으며 소나무가 가장 많이 분포하고 있으며, 계절적 변화가 뚜렷하기 때문에 소나무숲의 NVOC와 계절별 물리환경에 대한 연구는 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 강원도 대관령의 넓은 면적을 차지하고 있는 우리나라의 대표 침엽수 수종인 소나무숲을 연구대상지로 선택하고 현장실험을 통하여 NVOC와 봄철 숲이 주는 온도, 습도, 조도 등 물리환경에 대한 관계를 과학적으로 밝히는 것을 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구 조사대상지는 강원도 강릉시 성산면에 위치한 우리나라의 소나무를 대표하는 대관령 소나무 숲으로 선정하였다. 대관령은 백두대간의 큰 고개중 하나로 울창한 소나무 숲이 유명하며 수려한 자연경관과 더불어 주변 계곡의 아름다움이 매우 빼어난 곳이다. 소나무에는 여러 품종이 있으며 대관령 소나무 숲은 그중 줄기가 곧고 수피가 붉은 금강송이 주종이다. 대상지는 자연의 보존상태가 양호하며, 대기・환경 오염원에 영향을 받지 않는 산림지역으로 등산로로부터 약 20 m 떨어진 지역에서 조사를 하였다.

2. 측정인자

1) 대기중 NVOC 농도

VOC(Volatile Organic Compound, 휘발성유기화합물)란 끓는점이 100°C미만으로 존재하는 경우가 많은 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭을 말한다. 대기 중에는 다양한 종류의 VOC가 인위적 그리고 자연적 발생원으로부터 배출된다. 도시 대기 중에 존재하는 AVOC는 대부분 산업시설 또는 자동차로 부터 배출되며, 일부는 그자체로 독성을 나타내거나 발암성 또는 돌연변이성 같은 건강에 악영향을 나타낸다. 본 연구에서는 NVOC를 중점적으로 조사하였다. 숲에서 발산되는 NVOC는 대부분 수목에서 발생되어진다. NVOC 중 우리에게 널리 알려진 피톤치드류 물질은 대부분 테르펜 구조 $(C_5H_8)n(n \geq 2)$를 가지고 있어 테르펜류로 불리기도 한다. 테르펜은 이소프렌단위가 기초가 되어 그 수에 따라 모노테르펜, 세스퀴테르펜, 디테르펜, 트리테르펜으로 나뉜다(Aaltonen et al., 2011). 이 중 n=2인 것을 모노테르펜

($C_{10}H_{16}$)이라하며, 본 연구에서는 모노테르펜 중에서 α-pinene, β-pinene, camphene 등 20종을 분석대상물질로 선정하여 조사하였다.

2) 봄철 물리환경

NVOC의 배출량은 수목의 종에 따라 다르며 다양한 성분을 배출하는데 각 성분에 따라 다른 효능을 가지고 있다. 배출량의 공통적인 변인은 외적조건에 따라 달라지는데 빛과 온도에 의해서 배출속도가 다르게 나타난다고 보고되었다(Guenther, 1991; Kesselmeier and Staudt, 1999; Trapp et al., 2001). 따라서 본 연구에서는 소나무숲의 NVOC 농도와 물리환경과의 상관관계를 비교하기 위하여 2010년부터 2012년까지의 기상청의 대관령 지역 계절관측표를 근거로 근접한 날씨에 측정을 하였으며, 2013년 3월부터 5월까지 총 5회에 걸쳐 실험을 진행 하였다.

3) 입지특성 및 식생현황

연구대상지는 해발 240 m의 계곡에 위치한 산복이며, 5영급의 소나무가 우점한 지역이다. 경사는 험준지에 속하는 가파른 경사이고 경사형태는 하상사면, 퇴적양식은 포행토, 사면방위는 남서, 풍노출도는 보통인 임지다.

연구 대상지의 식생 특성을 밝히고자 교목, 아교목, 관목, 지피층으로 나누었다. 20 m × 20 m 크기의 방형구에서 10 m × 10 m크기로 중첩한 방형구에 식생을 중첩하여 조사하였다. 소나무가 우점종으로 가장 넓게 분포하고 있었으며, 관목층으로 서어나무, 산벚, 굴참나무 등이 분포하고 있었다. 지피층은 눈이 40 cm이상 덮여 있어 조릿대 이외엔 확인이 불가능 하였다. 대상지의 소나무는 평균수고 17 m, 평균흉고직경 50의 5영급의 소나무이며 강도의 숲가꾸기가 실시된 곳이다.

3. 측정방법

1) NVOC

본 연구는 총 5차례의 실험을 진행하는 동안 매 실험마다 일출(05:30), 남중(12:20), 일몰(18:40)시간에 맞추어 채취를 하였다. 대기 중의 시료를 채취하기 위하여 흡착관법을 사용하였다. 흡착관은 Tenax TA가 충진된 1회용 튜브(ORBO 402, Supelco, USA)를 사용하였다. 시료 채취장치는 미니펌프(MP-30KN, SIBATA, Japan)를 사용하였으며, 사용전 Flow Meter를 사용하여 흡입량 오차를 보정하였다. 흡입한 총 유량은 100 mL/min로 9 L를 포집하였다. 시료채취는 삼각대를 이용하여 바닥면으로부터 1.5 m의 높이에 수평이 맞도록 설치했으며, 한지점당 두 개의 시료(duplicate sampling, 중복채취)를 채취하여 평균값을 환산하였다(Ministry of Enviroment, 2010). 튜브 설치시 접촉에 의한 인위적 오차가 발생하지 않도록 폴리에틸렌 소재의 일회용 장갑과 항균 마스크를 착용하였다. 채취가 끝난 시료는 4°C이하의 온도를 유지하여 48시간 이내 운반되어 분석이 이루어졌다.

Table 1. HS-SPME operarting parameters for NVOC.

Parameter	Condition
Pre Incubation Time (sec)	20 sec
Incubation Temp. (°C)	40°C
Fiber Condition Temp. (°C)	280°C
Agitator Speed (rpm)	500 rpm
Vial Penentration (mm)	22 mm
Extraction Time (m:ss)	30 min
Injection Penentration (mm)	54 mm
Desorption Time (m:ss)	5 min
Post Fiber Condition Time (m:ss)	10 min

채취한 시료를 headspace-solid phase microextraction (HS-SPME)법으로 전처리하여 GC-MS(기체크로마토그래프/질량분석계)로 측정 분석하는 방법으로 NVOC의 분석에 적용하였다(Table 1). 채취한 시료에 MeOH 1 mL를 흘려주어 4 mL의 정제수가 들어있는 10 mL headspace vial에 옮긴 후 내부표준물질로 Phenantrhrene-10 (1 mg/L × 50 μL)을 가한 다음 40 oC에서 15분 가열 하였다.

추출 후 GC 주입구에 주입하여 GC-MS로 분석하였다(Table 2). Fiber는 PDMS/DVB를 사용하였고 선택이온 또는 정량이온에 대한 크로마토그램을 작성하여 각 물질의

Table 2. GC/MS operarting parameters for NVOC.

Parameter			Condition		
Column			HP-INNOWAX (60 m × 0.25 mmI.D × 0.25 μm, filmthickness)		
Carrier Gas flow			He at 1 mL/min.		
Injection mode			Pulsed Splitless		
Injection port temp.			210°C		
Transferline temp.			210°C		
Oven temp. program	Initial Temp.(°c)	Initial Time(Min)	Rate (°c/min.)	Final Temp.(°c)	Final Time(Min.)
	40	3	8	220	3
Post run			220°C, 5 min		

머무름 시간에 해당하는 위치의 피이크로부터 피이크 면적을 측정하고, 미리 작성한 검정곡선으로부터 각각의 양을 구하여 시료중의 농도를 계산하였다.

2) 물리환경측정

대상지의 온도, 습도, 풍속, 이슬점, 구온도, 기류, 습구흑구 온도를 일출시간 부터 일몰시간까지 매 1분 간격으로 휴대용 다기능 계측기(Poly MI 6401, METREL, Slovenia)에 연속적으로 저장되도록 설정하였다. 설정된 계측기는 미니펌프 주변 1 m 내외로 삼각대를 이용하여 수평을 맞추어 1.5 m의 높이로 설치하였다. 디지털화된 측정 결과를 저장한 후에 변환하여 분석에 이용하였다. PMV/PPD 분석은 SensorLink PRO 프로그램(METREL, Slovenia)을 사용하였고, 측정의 오차를 줄이기 위하여 측정 전, 후 5분의 데이터는 제외하고 분석하였다.

3) 검량선 작성

본 연구에서 검량선을 작성하기 위하여 α-pinene, β-pinene 등 20의 표준물질(99%, Aldrich, USA)을 사용하였다. 각 물질의 표준물질을 희석하여 각성분의 정량용 질량수와 면적의 비를 구하여 α-pinene(R^2 = 0.997), β-pinene (R^2 = 0.998), d-limonene(R^2 = 0.999) 등의 검량선을 작성하였으며, 이를 통해 각 성분의 정량분석을 실시하였다. 검출한계(LOD)는 모든 대상 물질에 대하여 0.07 ng이하로 나타났고, 정량한계(LOQ)는 0.24 ng이하로 나타났다. 검량선에 관한 점검은 분석기간 동안 주기적으로 이루어졌다.

결과 및 고찰

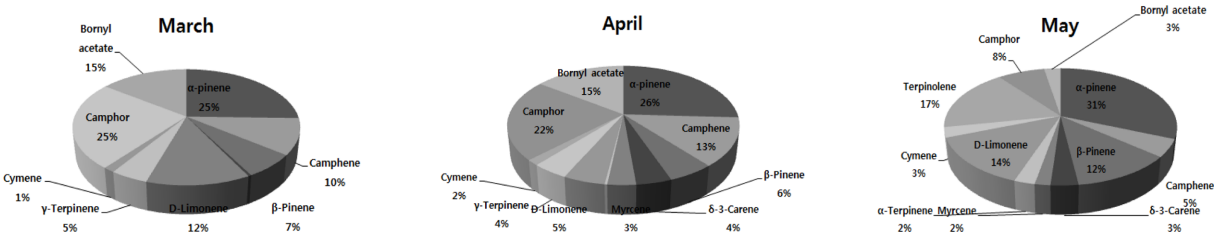
1. NVOC의 농도

소나무림에서 형성되는 NVOC를 α-pinene를 포함한 20종에 관한 분석결과를 살펴보면(Figure 2), 총 13종의 물질이 검출 되었으며, 그 중 α-pinene의 농도가 가장 높은 것으로 확인되었다. 대부분의 물질의 농도 특성 분포경향이 유사하게 나타났다. 그 특성을 살펴보면 α-pinene > β-pinene > d-limonene 등의 순으로 농도가 높게 나타났다.

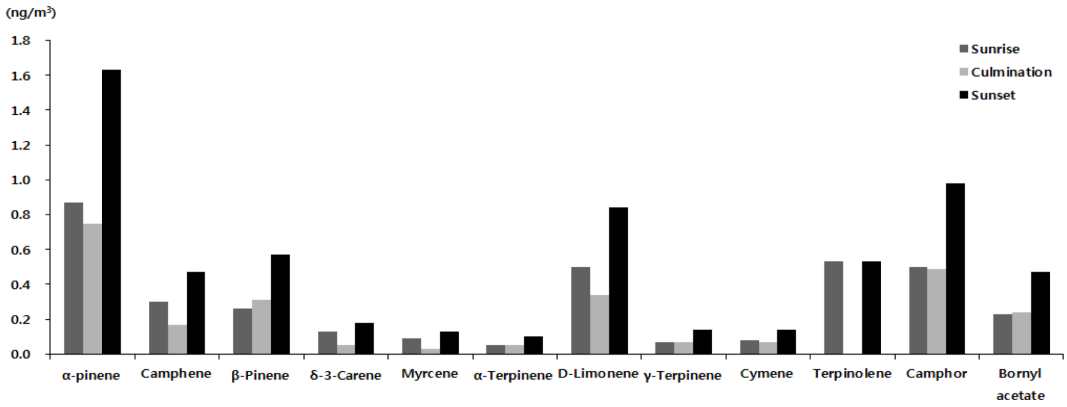
3월에서 5월까지의 봄철 NVOC의 일중 농도 특성을 확인해 본 결과(Figure 3), 검출된 12, 13종 물질의 하루 중 농도는 남중, 일출, 일몰의 순으로 높아졌다. 식물의 광합성 작용이 활발한 오전 및 낮 시간대(12:20~13:20) 보다 밤 시간대(18:40~19:40)에 농도가 상대적으로 높은 결과를 보였다.

2. 숲내의 물리환경

3, 4, 5월 대관령 소나무 숲의 물리환경에 대한 결과를 나타내었다(Figure 4). 3, 4, 5월의 물리환경을 측정한 결과, 봄철 대관령 소나무숲의 일중 기온은 최저 4.5℃~최고 31.2℃로 나타났다. 아침시간부터 낮시간까지 기온이 급하게 상승하며, 저녁시간대에 이르러 다시 감소하는 경향



Figur 1. Characteristics of NVOC in *Pinus densiflora* forest.



Figur 2. Variation of NVOC in *Pinus densiflora* forest.

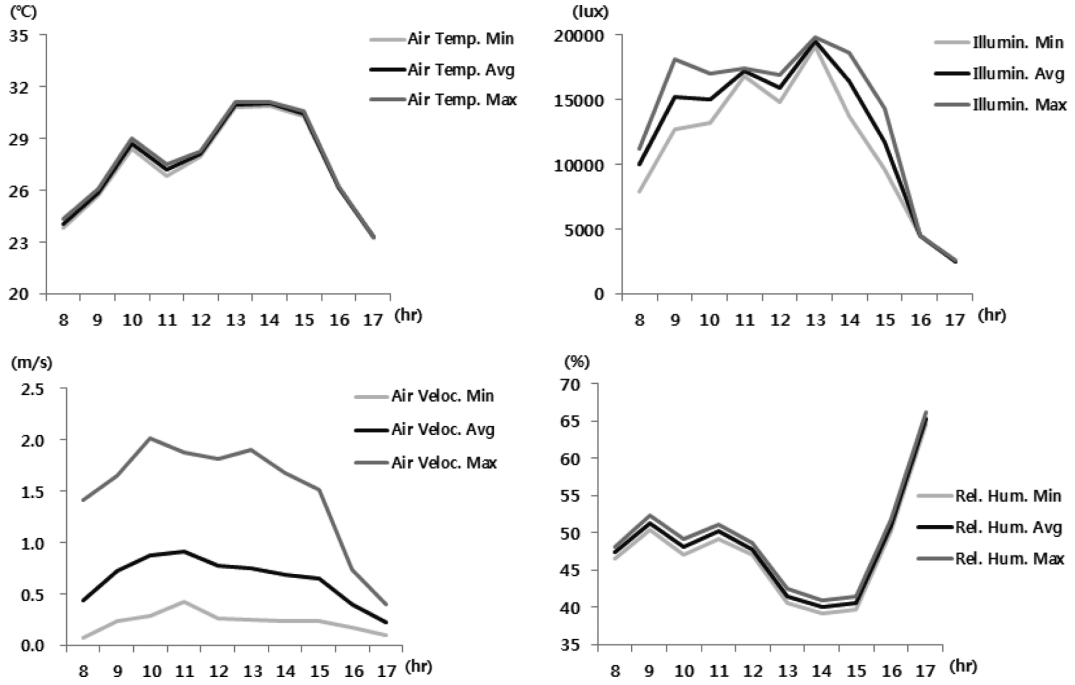


Figure 3. Physical environment of Daegwallyeong *Pinus densiflora* forest-may.

Table 3. Realationship between NVOC and Forest environment in spring season.

	Humidity(%)		Dewpoint (°C)		Illumination (lux)		Air Velocity (m/s)		Air Temperature (°C)	
NVOC Material	r^2	p-value	r^2	p-value	r^2	p-value	r^2	p-value	r^2	p-value
α-Pinene	.000	.961	.481	.013*	.041	.529	.175	.171	.362	.040*
β-Pinene	.007	.808	.703	.001**	.010	.755	.126	.267	.577	.004**
Camphor	.032	.562	.101	.331	.026	.579	.049	.447	.104	.312
D-limonene	.010	.765	.743	.000**	.011	.758	.090	.343	.609	.002**
δ-3-Carene	.009	.833	.266	.179	.064	.491	.199	.212	.188	.282
γ-Terpinene	.125	.303	.217	.143	.298	.081	.379	.065	.267	.098

* : .3 < r < .7, -.3 < r < -.7
** : .7 < r < 1, -.7 < r < -1, r-value by Pearson correlation coefficient

을 보였다. 조도는 최저 0 lux~최고 2000 lux로 나타났다. 풍속은 최저 0.07 m/s~최고 2.2 m/s로 측정 되었으며 일중 시간동안 완만한 변화의 폭을 보였다. 습도는 남중시간대까지 감소하다가 다시 증가하였으나 3월의 경우 다음날 우천으로 다른 측정시기에 비하여 높게 나타났다.

3. NVOC 농도와 숲환경과의 관계

물리환경이 NVOC의 농도에 미치는 영향을 밝히기 위하여 검출된 NVOC 물질들의 농도와 물리환경의 관계를 분석하였다. Pearson 상관분석의 결과(Table 3) 주요 6종의 물질(α-pinene, β-pinene, d-limonene, camphor, δ-3-carene, γ-terpinene)과 물리환경 지표인 이슬점, 온도의 상관관계에 대하여 밝힐 수 있었다. 다만, α-pinene, β-pinene 외의 물질은 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

위의 결과 중 α-pinene과 물리환경의 상관관계에 대한 결과를 나타내었다(Figure 5). α-Pinene은 온도, 이슬점과 양의 상관관계를 가지고 있어서 온도, 이슬점의 값이 높아질수록 농도가 높아진다는 사실을 알 수 있었다. 또한 풍속과의 상관관계는 나타지 않았으나 경향성을 보자면 풍속이 높을수록 농도가 낮아지는 추이를 보였다.

결 론

본 연구는 3월에서 5월까지 봄철 소나무숲의 NVOC 농도와 숲의 물리환경과의 상관관계에 대하여 과학적으로 밝히고 그 특성을 명확하게 하기 위해서 수행되었다. 봄철 소나무숲의 NVOC 구성을 비교해본 결과, 기존 연구보고에 의하면 소나무숲의 경우 α-pinene > ß-pinene > d-limonene의 순서로 구성분포비를 보인다고 보고하였으며 (Ji et al., 2002) 본 연구에서도 동일하게 나타났다. 구성분

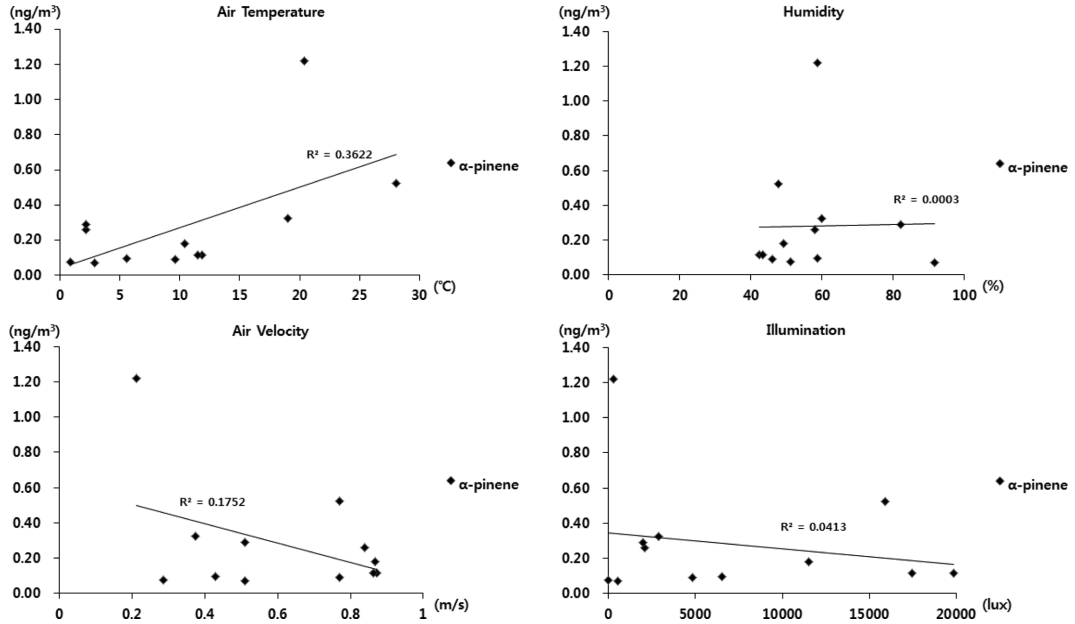


Figure 4. Curve of Relationship between α-pinene concentration and Forest environment.

포비는 계절에 따른 물질의 특성의 영향을 받은 것으로 예상된다. 일중 NVOC 농도의 특성을 분석해본 결과 남중, 일출, 일몰의 순으로 농도가 높게 나타났다. 이는 낮 시간대에는 대기 중의 오존 등의 산화물질들과 급속한 반응으로 소멸되고, 밤 시간대에는 역전현상에 의해 대기가 안정되고 낮 시간에 비해 대기의 혼합이 잘 이루어지지 않기 때문이라는 선행 연구 결과와 일치한다(Harrison et al., 2001; Cerqueira et al., 2003). NVOC의 농도와 물리환경과의 상관관계를 비교한 결과 대부분의 물질에서 온도, 이슬점이 높을수록 농도가 높아졌으며 풍속이 높아질수록 농도가 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다.

하지만 본 연구결과와 선행 연구의 결과(Kim et al, 2004)와 다른 점이 있는 것으로 나타나 실험 횟수의 증가와 자연적 물리환경과의 상관관계에 대하여 연구가 필요하며, 단시간 혹은 계절별 NVOC 농도 특성의 차이 지형적, 수종별 차이에 대하여 보완할 필요가 있다고 사료된다. 또한, 기존의 연구에서는 충진 물질의 유실로 인해 연구의 정확도가 문제가 될 수 있었으나 본 연구에서는 오차를 최대한 줄이기 위하여 1회용 튜브를 사용하였다. 현재 이러한 연구와 같은 방법으로 진행한 연구는 매우 미흡한 실정이며, 충분한 비교 연구가 이루어져야 숲에서 발생하는 NVOC의 농도에 대하여 분명히 밝힐 수 있을 것이다.

본 연구에서 얻어진 자료들은 국민들의 건강증진과 여가활동에 유익한 정보로 사용 되어 질 것 이며 치유의 숲 조성 및 숲 환경에 대한 새로운 이해를 줄 수 있는데 도움이 될 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산림청'산림과학기술개발사업(과제번호 :S211214L010110)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

Aaltonen, H., Pumpanen, J., Pihlatie, M., Hakola, H., and Hellen, H. 2011. Agricultural and Forest Meteorology 151: 682-691.

Cerqueira, M.A., Pio, C.A., Gomes, P.A., Matos, J.S., and Nunes, T.V. 2003. Volatile organic compounds in rural atmospheres of central Portugal. The Science of Total Environment 313: 49-60.

Cho, Y.M., Shin, W.S., Yeoun, P.S., and Lee, H.E. 2011. The influence of forest experience program on children from low income families, sociality and depression. Journal of Korean Institute of Forest Recreation 15(2): 69-75.

Guenther, A., Hewitt, C.N., Erickson, D., Fall, R., and Beron, C. 1995. A global model of natural volatile organic compound emissions. Journal of Geophysical Research 98: 12609-12617.

Guenther, A.B., Monson, R.K., and Fall, R. 1991. Isoprene and monoterpene emission rate variability: Observation with eucalyptus and emission rate algorithm development. Journal of Geophysical Research 96(D6): 10799-10808.

Harrison, D., Hunter, M.C., Lewis, A.C., Seakins, P.W., Bonsang, B., Gros, V., Kanakidou, M., Touaty, M., Kavouras, I., Mihalopoulos, N., Stephanou, E., Alves, C., Nunes, T., and Pio, C. 2001. Ambient isoprene and monoterpene

concentrations in Greek fir (Abies Borisii-regis) forest. Reconciliation with emissions measurements and effects on measured OH concetrations. Atmospheric Environment 35: 4699-4711.

Ji, D.Y., Kim, S.Y., and Han, J.S. 2002. 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 18(6): 515-525.

Kaplan, S. and Talbot, J. 1983. Psycho logical benefits of wilderness experience. In I. Altman & J. F. Wohwill(eds.), Human Behavior and Environment 6: 163-203.

Kawakami, K., Kawamoto, M., Nomura, M., Otani, H., Nabiki, T., and Gonda T. 2004. Effects of phytoncides on blood pressure under restraint stress in SHRSP. Clin Exp Pharmacol Physiol 31: S27-S28.

Kesselmeier and Staudt M. 1999. Biogenic volatile organic compounds (VOC): An overview on emission, physiology and ecology. Journal of Atmospheric Chemistry 33: 23-88.

Kim, J.C., Lim, J.H., Hong, J.Y., Sun, W.Y., Kim, G.J., and Shin, W.S. 2004. A comparison on seasonal NVOCs emissons coniferous trees in Season. Jounal of Korean Society for Atmospheric Environment. pp. 274-275

Li, Q., Morimoto, K., Kobayashi, M., Inagaki, H., Katsumata, M., Hirata, Y., Hirata, K., Suzuki, H., Li, Y., Wakayama, Y., Kawada, T., Park, B.J., Ohira, T., Matsui, N., Kagawa, T., Miyazaki, Y., and Krensky, A.M. 2008. Visiting a forest, but nat a city, increase human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. International Journal of Immunopathology and Pharmacology 21(1): 117-127.

Li, Q., Nakadai, A., Matsushima, H., Miyazaki, Y., Krensky, A.M., Kawada, T., and Morimoto, K. 2006. Phytoncides (wood essential oils) induce human natural killer cell activity. Immunopharmacol Immunotoxicol 28: 319-333.

Ministry of Environment. 2010. Indoor air quality standard method. 24: 17-38.

Owen, S., Boissard, C., Street, R.A., Duckham, S.C., and Hewitt, C.N. 1997. The BEMA-project: Screening of 18 mediterranean plant species for volatile organic compound emission. Atmospheric Environment 31(SI): 101-117.

Park, B.J., Kim, B.Y., Lim, H.J., Choi, Y.H., Joung, D.W., and Lee, J.W. 2012. The stress reduction effects of forest prenatal education on pregnant women. Institute of Recreation and Landscape Planning 6(1): 21-25.

Park, B.-J. and Miyazaki, Y. 2008. Physiological effects of viewing forest landscapes: Results of field tests in Atsugi city, Japan. Journal of Korean Forest Society 97(6): 634-640.

Trapp, D., Cooke, K.M., Fischer, H., Bonsang, B., Zitzelsberger, R.U., Seuwen, R., Schiller, C., Zenker, T., Parchatka, Nunes, T.V., Pio, C.A., Lewis, A.C., Seakins, P.W., and Pilling, M.J. 2001. Isoprene and its degradation products methyl vinyl ketone, methacrolein and formaldehyde in a eucalyptus. Chemosphere Global Change Science 3: 295-307.

Ulrich. 1993. Biophilia, biophobia, and natural landscapes. The Biophilia Hypothesis. Island/Shearwater Press, Washington, DC. pp. 73-137.

Yoo, Y., Lee, S.M., Seo, S.C., Choung, J.T., Lee, S.J., Park, S.J., and Park, C.W. 2011. The clinical and immunological effects of forest camp on childhood environmental diseases. Jounal of Korean Institute of Forest Recreation 15(2): 85-93.

(2014년 3월 25일 접수; 2014년 7월 18일 채택)