

PLANT&FOREST

Analysis of a forest healing environment based on the thermal comfort and NVOC characteristics of Chungnam National University Experimental Forests

Hyelim Lee¹, Dawou Joung¹, Siok An¹, Doyun Song¹, Bum-Jin Park¹, Seungmo Koo^{2*}

¹Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

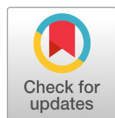
²Department of Agricultural Economics, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: koosm@cnu.ac.kr

Abstract

The purpose of this study is to provide information on a forest healing environment using the analysis of nature volatile organic compounds (NVOCs) and thermal comfort in Chungnam National University Experimental Forest, with the aim of using the Experimental Forest as a healing environment for health promotion. We analyzed NVOCs and thermal comfort of Chungnam National University Experimental Forest measured on September 12th, 2021. As a result of the NVOC analysis, a total of seven substances were detected, mainly including alpha pinene and beta pinene. The detection amount for each time period was highest at the time of sunset. The thermal comfort was analyzed by time-dependent changes and changes according to clothing and exercise amount. The results showed that the predicted mean vote of the experimental forest is within the range of 'slightly cool' and 'slightly warm' sensation, and thus a comfortable thermal environment could be controlled by the amount of clothing and activity. Based on the analysis, this study provides information on the healing environment of the experimental forest at Chungnam National University. It also indicates that the forest can be used as a health promotion and healing environment with thermal comfort by composing a physical activity program of appropriate intensity for each time period.

Key words: Experimental Forest utilization, metabolic rate, phytoncide, predicted mean vote (PMV), predicted percentage of dissatisfied (PPD)



OPEN ACCESS

Citation: Lee H, Joung D, An S, Song D, Park BJ, Koo S. Analysis of a forest healing environment based on the thermal comfort and NVOC characteristics of Chungnam National University Experimental Forests. Korean Journal of Agricultural Science 49:983-993. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220090>

Received: September 26, 2022

Revised: November 21, 2022

Accepted: November 25, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

규칙적인 신체활동은 심혈관 질환, 제2형 당뇨병, 유방암, 결장암 등 비감염성 질병의 예방과 관리에 대한 보호 요인으로 잘 알려져 있다. 또한 신체활동은 정신 건강에 유익하며, 치매 발병을 늦추고 건강한 체중 유지 및 전반적인 웰빙에 기여하는 것으로 알려져 있다(MOHW, 2021a). 그러나 코로나 19 확산 이후로 외부 활동과 실내 운동의 기회는 줄고 변화된 식생활로 비만율이 늘고 있다는 통계가 발표되고 있다(KDCA, 2020). 남자의 비만율은 2019년 41.8%에서 2020년 48.8%로 증가하였고, 여자의 경우 2019년 25%에서 2020년 27.7%으로 증가하여 조사가 시작된 이래 가장 높은 비만율을 보였다(KDCA, 2021).

정부는 코로나 19 확산 이전부터 국민건강증진종합계획 2030에서 신체활동 프로그램 제공, 개인별 신체활동증진 서비스, 환경조성 등의 건강수명을 늘이기 위한 정책을 추진해 왔다(MOH, 2021b). 하지만 코로나 19로 인한 거리두기와 모임의 제한으로 건강증진 프로그램 등의 운영이 어려워져 원활하게 이루어지지 못하였고(Kim and Kim, 2022), 스크린 타임과 같은 실내생활 증가로 신체활동량이 줄어 비만율이 빠르게 상승되는 결과가 나타났다(Hur et al., 2022). 코로나 바이러스의 하위 변이의 출현으로 유행이 지속되고 있어 코로나 19 확산 이전처럼 실내에서 여러 명이 참여하는 프로그램의 운영은 쉽지 않아 보인다. 대안으로 심리적 안정감을 향상시키며, 신체활동량을 증가시킬 수 있는 숲과 공원 같은 야외 환경을 프로그램 운영을 위한 공간으로 이용하는 방법이 있다(Toselli et al., 2022).

선행연구에 따르면, 숲 등의 녹지공간은 인지기능 발달(Lee et al., 2021), NK-cell 활성도 증가(Li et al., 2009), 스트레스 호르몬 감소(Lee et al., 2011), 뇌활동의 진정 효과(Joung et al., 2015) 등의 생리적인 건강향상 뿐만 아니라, 스트레스 완화(Park et al., 2014; Lee et al., 2018), 우울감 감소(Lee et al., 2021) 등 정신건강에 있어 긍정적 영향을 미친다고 보고되고 있다. 또한 산림은 피톤치드, 음이온, 경관, 햇빛 등 치유인자가 풍부하다(Park et al., 2021a). 특히 식물 자체에서 발산하는 휘발성유기화합물질(volatile organic compounds, VOCs)인 피톤치드는 항균, 항염, 스트레스 감소 등 건강증진효과를 주는 물질로서 연구되고 있다(Kim et al., 2012; Min and Kim, 2019). 이에 따라 최근 산림에서의 활동은 건강증진을 목적으로 시행하는 경향이 증가하고 있으며, 수요에 맞추어 각 지자체별로 치유의 숲 조성이 증가하고 있다. 이러한 추세에 이르는 치유의 숲 조성이 사회경제적으로는 긍정적 외부성(positive externality)을 발생시켜, 숲을 이용하는 지역 주민들로 하여금 시장에서 거래되지 않는 비시장적 편익(non-market value)을 얻게 할 수 있기 때문이다.

하지만 치유의 숲은 물리적 위치로 인해 활용성 측면에서 일부 한계를 가지고 있다. 대부분 시 외곽에 자리 잡고 있어 일반 시민들이 쉽게 접근하기 어려운 측면이 있다. 이에 대한 대안으로 도시 내 공원 환경이나 도시 숲을 활용하여 접근성을 높이는 방법이 비용측면에서도 효과적이다.

대전시의 경우 공원면적은 17,502,000 m²이고 도시 내의 1인당 공원면적은 12.1 m²이다(DMC, 2022). 그러나 이러한 공원면적은 시외곽에 위치한 도시자연공원에 집중되어 있다(Chung, 2001). 도시숲의 경우 면적의 크기보다 접근성이 더 중요하기 때문에, 대규모로 새로운 공원을 개발할 공간이 더 이상 없는 도시에서는 인근의 작은 공원에 시설을 추가하여 기존 공원을 개선하는 것이 더 바람직하다(Sung et al., 2022)는 연구결과에 따라 사회적 비용의 절감 차원에서 기존의 인프라를 활용한 효율적인 대안이 필요하다.

충남대학교 내에 소재한 학술림의 활용은 새로 도시숲을 조성하지 않고도 지역 주민에게 건강증진을 실천할 수 있는 질 좋은 환경을 제공하는 대안이 될 수 있다. 대학 학술림은 산림자원의 육성과 관련 학문분야의 연구를 수행하기 위한 교육장소(Kwon and Kim, 1999)로 산림으로써 유지관리가 양호하다. 다시 말하면 학술림은 연구 및 교육활동을 위한 장소뿐만 아니라 산림복지서비스를 위한 공간으로 확장시켜 활용할 수 있다는 것이다(Kim et al., 2003; Seo et al., 2006; Kim et al., 2017). 건강증진 프로그램의 참여를 결정하는 요인 중 장소의 접근방법은 중요한 요소(Park et al., 2010)로, 도심지에 위치한 충남대학교 학술림은 별도의 숲 조성 비용을 절감하면서 지역 주민의 건강증진을 위한 치유환경으로써 가치가 크다.

기존 학술림과 관련된 연구는 자원 및 식생 등 학문향상과 임업기술 발전분야와 관련하여 주로 진행되어 왔다(Oh et al., 2005; Seo et al., 2012; Park et al., 2016). 그러나 산림복지서비스를 위한 학술림의 치유자원과 관련된 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 충남대학교 학술림의 지역 주민 건강증진을 위한 치유환경으로써의 활용가능성을 확인하기 위해 천연 휘발성 유기화합물(nature volatile organic compounds, NVOCs) 농도특성과 열쾌적성에 관한 연구를 수행하여, 이용자의 적용범위를 확대하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

조사대상지

본 연구의 측정 대상지는 대전시 유성구에 위치한 충남대학교 내의 학술림으로 식생은 5영급 중경목의 리기다소나무 인공림과 4영급 중경목의 상수리 나무 천연림, 4영급 중경목 침활혼효림으로 이루어져 있다. 현재 학술림 내 제3학생회관, 팔각정, 수당정, 숲속 쉼터를 연결하여 정보화본부까지 총 거리 1.75 km의 숲길이 조성되어 있으며, 숲속 쉼터 한 지점에서 NVOCs와 열 쾌적성 관련 지표를 측정하였다(Fig. 1).

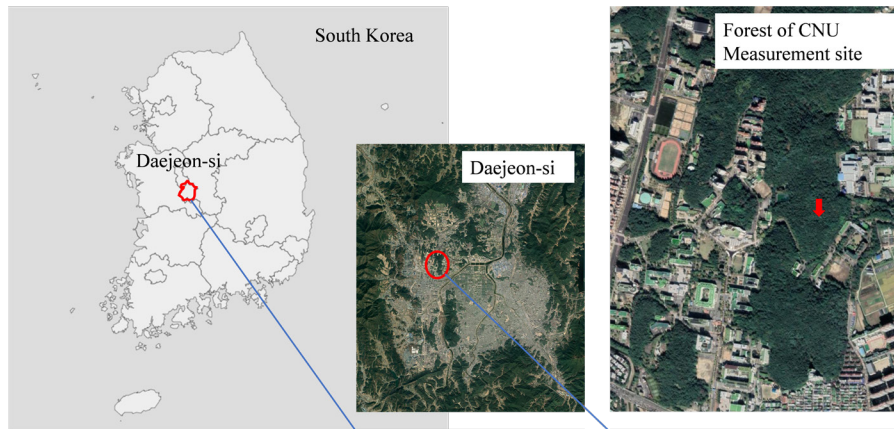


Fig. 1. Location map of Chungnam National University (CNU) Experimental forest.

측정인자 및 측정방법

NVOCs

NVOCs란 자연적 발생원으로부터 배출되는 VOCs를 의미한다. VOCs는 상온 및 상압에서 대기 중으로 가스형태로 쉽게 휘발되는 탄화수소화합물이며 인위적인 발생원에서 방출되는 인위기원 VOCs와 자연 발생원에서 방출되는 자연기원 VOCs로 구분할 수 있다. 또한 NVOCs 중 식물에서 방산하는 피톤치드의 주요성분은 monoterpene, sesquiterpene, diterpene 등 terpene 화합물로 이루어져 있으며 대기 중으로 방산되는 NVOCs의 주요 물질은 monoterpene으로 구성되어 있다(Park et al., 2021b). 본 연구에서는 α -pinene, camphene, β -pinene, sabinene 등 30종을 분석대상물질(Sigma-Aldrich, Missouri, USA)로 선정하였다(Table 1). 단, 분석대상 물질 중 benzaldehyde의 경우는 NVOCs 시료 포집 과정에서 흡착제가 산화되어 생성되는 값이 포함되어 분석 수치에 영향을 미치므로 분석에서 제외하였다.

본 실험은 2021년 9월 12일 측정되었으며, 숙련된 3인의 연구자가 현장조사에 참여하였다. NVOCs는 일출, 남중고도, 일몰시각에 맞추어 총 3회를 포집하였다. 당일 대전시 유성구의 일출시각은 오전 6시 10분이며, 남중고도 시각은 오후 12시 26분, 일몰시각은 오후 6시 43분이다. 산림 대기 중의 NVOCs를 포집하기 위하여 흡착관법을 사용하였다. 측정 시작 48시간 전에 흡착관 내의 불순물을 제거하는 전처리과정(tube conditioning)을 거친 후 측정하였다. 포집장치는 미니펌프(MP- Σ 30KN, SIBATATM, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 흡착관은 흡착튜브(Tenax-TA KT50601, KNR, Namyangju, Korea)를 사용하였다. 미니펌프는 인체가 후각을 느낄 수 있는 높이를 고려하여 삼각대를 이용하여 지면으로부터 1.2 m의 높이에 수평이 되도록 설치하였다. 흡착관을 설치하는 과정에 인위적인 오차가 발생하지 않도록 측정자는 24시간 전부터 방향성 물질이 함유된 제품을 사용하지 않았으며, 측정 시 일회용

장갑과 실험용 마스크를 착용하였다. NVOCs 흡입은 150 mL·min⁻¹의 유속으로 총 9 L (60 min)의 유량으로 하였으며, 분석결과의 정확도를 높이기 위하여 동일한 지점에 2개의 흡착관을 중복포집(duplicate sampling)하여 평균값을 환산하였다. 포집이 끝난 흡착관은 PTFE (polytetrafluoroethylene) 소재 바이알에 Parafilm을 사용하여 이중 밀봉하였다. 밀봉한 흡착관은 휴대용 쿨러에 넣어 4°C 이하의 온도를 유지하였으며 24시간 이내 운반하여 분석하였다. 포집된 물질의 분석 방법은 Table 2과 같다.

Table 1. NVOCs analytical substance.

Compound					
1	Benzaldehyde	11	p-Cymene	21	alpha-Terpineol
2	alpha-Pinene	12	Limonene	22	Nerol
3	Camphene	13	Eucalyptol	23	Pulegone
4	Sabinene	14	gamma-Terpinene	24	Geraniol
5	beta-Myrcene	15	trans Sbinene hydrate	25	(-)-Bornyl acetate
6	(-)-beta-Pinene	16	Fenchone	26	(-)-trans-Caryophyllene
7	Phellandrene	17	alpha-Terpinolene	27	(E)-beta-Famesene
8	1,8-Cineole	18	Camphor	28	Valencene
9	3-Carene	19	Menthol	29	Nerolidol
10	alpha-Terpinene	20	(-)-Borneol	30	alpha-Bisabolol

NVOCs, natural volatile organic compounds

Table 2. GC/MS Operating Parameters for NVOCs.

Parameter	Condition
Column	DB-1 (60 m, 0.25 mm, ID 1.0 µm)
Carrier gas flow	He at 1 mL·min ⁻¹ .
Injection mode	Split (10 : 1)
Desorb temperature	300°C
Transfer line temperature	250°C
Oven temperature program	50°C → 5°C·min ⁻¹ → 120°C → 3°C·min ⁻¹ → 210°C → 30°C·min ⁻¹ → 280°C (2 min)
Post run	220°C, 5 min

GC/MS, gas chromatography/mass spectrometer; NVOCs, natural volatile organic compounds.

열쾌적성

열쾌적성 측정지표로는 예상 평균 한서감 지수(predicted mean vote, PMV)와 예상 불만족도(predicted percentage of dissatisfied, PPD)를 사용하였다. 열평형 모델에 기반한 PMV는 온열환경 평가지표의 국제기준(ISO, 2015; ASHRAE, 2017)으로 제정되어 활용되고 있으며 한국국가표준 KS A ISO 7730으로 제정되어 있다(KS, 2021a). 또한 온열쾌적성을 평가하는데 가장 많이 쓰이고 있는 방법이다(Van Hoof, 2008). PMV는 온열환경요소인 기온, 복사열, 상대습도, 풍속과 인체요소인 대사율과 착의량을 기반으로 한 7점 척도로 어떤 대규모 집단의 사람들이 표현하는 평균값을 예측하는 지수로써, PMV 점수가 0점(춥지도 덥지도 않은)에 가까울수록 열적으로 쾌적함을 의미한다(Table 3). PPD는 너무 서늘하거나 너무 따뜻하게 느끼는 열적으로 불만스러운 사람들의 비율을 정량적으로 예측하는 지수로써, PPD 값이 0%에 가까울수록 열적으로 쾌적함을 의미한다.

Table 3. 7-point thermal sensation scale for PMV.

Scale	3	2	1	0	-1	-2	-3
Sensation	Hot	Warm	Slightly warm	Neutral	Slightly cool	Cool	Cold

PMV, predicted mean vote.

본 연구에서는 열쾌적성 측정을 위하여 1.2 m 높이로 열스트레스 추적계(Kestrel 5400, Kestrel, Pennsylvania, USA)를 사용하여 기온(air temperature, °C), 풍속(wind speed, m·s⁻¹), 습도(relative humidity, %), 흑구온도(black globe temperature, °C)를 분단위로 측정하였다(Fig. 2). 이를 기반으로 평균복사온도(mean radiant temperature, MRT)를 환산하였고(ISO, 2012) PMV와 PPD 분석은 CBE Thermal Comfort Tool (Tartarin et al., 2020)을 사용하였다. 측정 시간은 오전 8시부터 오후 5시까지이며 측정시간 동안의 측정지의 평균기온은 24.3°C, 최저기온은 20°C, 최고 기온은 27.3°C이다. 분석 과정에서 착의량(clothing insulation, clo)은 ISO 7730에 제시되어 있는 착의량으로 계산했으며, 9월 산행복장인 착의량 0.50 (내의, 반소매 셔츠, 얇은 바지, 얇은 양말, 신발)과 0.75 (착의량 0.50에 얇은 여름 재킷의 착의량을 추가한 지표)를 사용하였다. 다양한 운동 조건에서 열쾌적성 변화를 확인하기 위하여 대사량(metabolic rate, met)을 조절하여 분석하였다. 대사량은 1.2 (앉아서 하는 활동), 2.4 (15°내리막 3 km·h⁻¹ 걷기), 3.6(15°오르막 3 km·h⁻¹ 걷기)를 분석에 사용하였다. 문헌조사(KS, 2021b)를 통하여 활동에 따른 대사량 값을 표기한 신체활동분류표를 정리하여 제시하였다 (Table 4).

Table 4. Metabolic rate of different activities.

Activity	Metabolic rate	
	W·m ⁻²	Met
Reclining	46	0.8
Seated, relaxes	58	1
Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory)	70	1.2
Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	93	1.6
Standing, medium activity (shop assistant, domestic work, machine work)	116	2
Walking on the level		
2 km·h ⁻¹	110	1.9
3 km·h ⁻¹	140	2.4
4 km·h ⁻¹	165	2.8
5 km·h ⁻¹	200	3.4
Walking uphill on the level		
5° slope 4 km·h ⁻¹	180	3.1
15° slope 3 km·h ⁻¹	210	3.6
25° slope 3 km·h ⁻¹	300	5.1
Walking downhill		
5° slope 4 km·h ⁻¹	135	2.3
15° slope 3 km·h ⁻¹	140	2.4
25° slope 3 km·h ⁻¹	180	3.1

Met, metabolic rate.

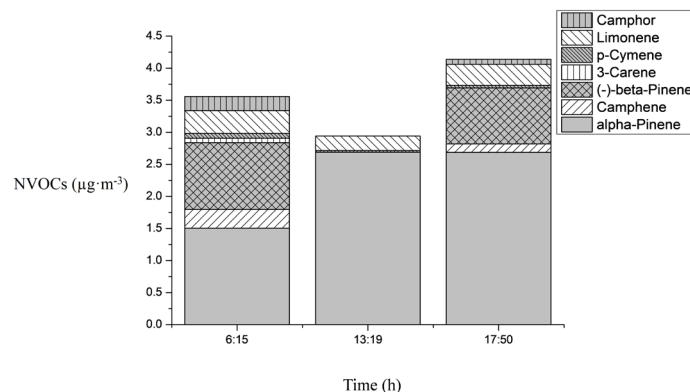


Fig. 2. Natural volatile organic compounds (NVOCs) change by measurement time period.

Results and Discussion

시간변화에 따른 NVOCs 농도특성

총 30개 항목에 대한 검사결과 중 alpha pinene, beta pinene, limonene, camphene, camphor, 3-carene, p-cymene의 총 7가지 NVOCs가 검출되었으며 일중 NVOCs 농도의 특성은 일몰, 일출, 남중시각 순으로 농도가 높게 나타났다 (Fig. 2). 이러한 결과는 일출과 일몰에는 대기 안정으로 NVOCs가 농축되어 높게 나타나며 남중에는 대기 중의 오존 등의 산화물질과 광화학반응으로 인한 분해와 대기 불안정으로 인한 확산 때문에 낮게 검출된다는 기존의 연구와 일치한다(Kim, 2014; Jeong et al., 2017; Khil and Shin, 2020). 3회 측정을 통하여 검출된 NVOCs의 평균 종합 구성비는 Fig. 3 과 같으며, alpha pinene의 구성비율이 57%로 가장 높다. beta Pinene 24%, limonene 7%, camphene 5%, camphor 4%, 3-carene 2%, p-cymene 1%의 비중을 차지하고 있다. 충남대학교 학술림은 80% 이상이 소나무로 구성되어 있어(Lee et al., 1998), 소나무와 잣나무 등의 침엽수에서 방출되는 NVOCs는 모노테르펜 물질이 다량 포함 된다는 연구결과와 일치한다(Kim et al., 2004). 검출물질 중 가장 높은 비율을 차지 하고 있는 alpha pinene 및 beta pinene은 항균, 항암, 항염, 항알레르기, 항불안 등의 효과가 인정되어 다양한 약물 임상 진행중인 물질이며(Salehi et al., 2019), 또한 피로회복을 촉진시키고, 기억력 향상, 인지증진효과가 있는 것으로 알려져 있다. Limonene은 항암의 효능이 있으며 Camphene은 저지질혈증, 저콜레스테롤혈증, 항산화의 효능이 있는 것으로 연구되었다(NIFOs, 2018). 건강에 유익한 물질의 NVOCs가 방산되는 충남대학교 학술림은 시민들이 건강증진을 위한 공간으로 활용 하는 것에 효과적인 장소로 판단된다.

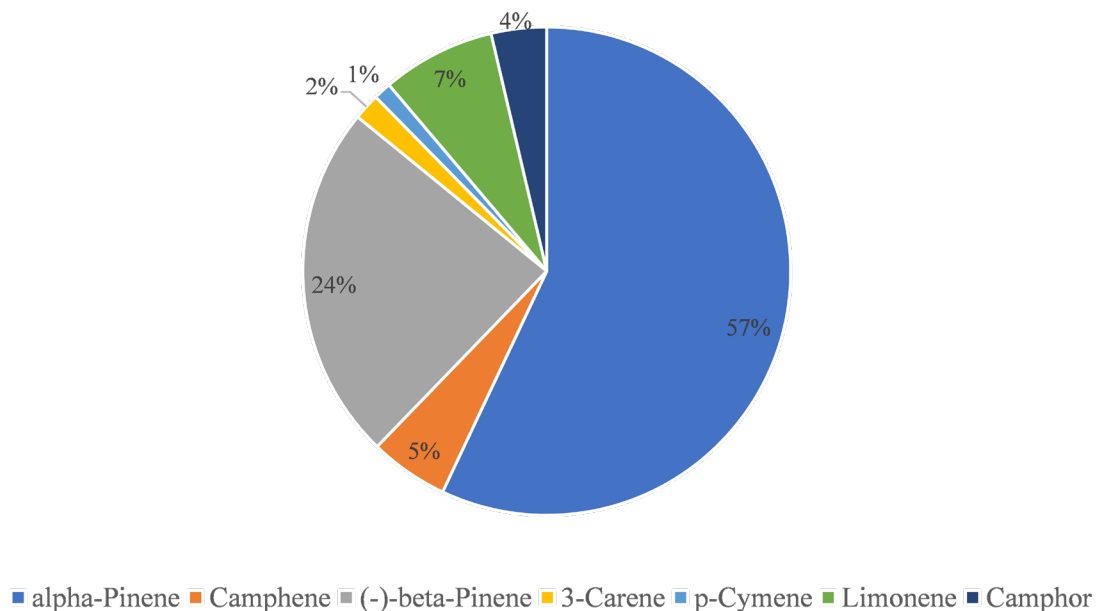


Fig. 3. Natural volatile organic compounds (TNVOCs) constituent ratio.

대사량과 착의량, 시간 변화에 따른 열쾌적성 특성

대사량과 착의량에 따른 열쾌적성의 분석 결과는 다음과 같다(Table 5 and 6; Fig. 4). 착의량 0.50에서 대사량에 따른 평균PPD는 대사량 1.2에서 $13.41 \pm 2.78\%$ 이며, 대사량 2.4에서는 $8.80 \pm 1.13\%$ 이다. 대사량 3.6에서는 $16.44 \pm 2.97\%$ 로 분석되었다. 착의량 0.75에서는 대사량 1.2에서 평균PPD가 $10.34 \pm 1.61\%$ 이며 대사량 2.4에서는 $15.20 \pm 2.46\%$ 이고, 대사량 3.6에서는 $28.76 \pm 3.00\%$ 로 분석되었다. 시간 변화에 따른 분석 결과를 살펴보면 PMV의 하한점은 오전 7시 -1.13 (착의량 0.50, 대사량 1.2)이고, 상한점은 오후 2시 +1.32 (착의량 0.75, 대사량 3.6)으로 나타났다.

Table 5. PMV with metabolic rate, clothing insulation and time.

Time	PMV					
	0.50 clo			0.75 clo		
	1.2 met	2.4 met	3.6 met	1.2 met	2.4 met	3.6 met
7:00	-1.13	-0.31	0.00	-0.48	0.14	0.59
8:00	-0.91	-0.18	0.14	-0.30	0.26	0.72
9:00	-0.97	-0.23	0.17	-0.35	0.24	0.77
10:00	-0.71	-0.05	0.38	-0.14	0.41	0.97
11:00	-0.59	0.04	0.50	-0.02	0.50	1.07
12:00	-0.06	0.38	0.83	0.39	0.78	1.12
13:00	0.34	0.61	1.04	0.72	0.93	1.29
14:00	0.57	0.75	1.10	0.92	1.05	1.32
15:00	0.03	0.45	0.89	0.47	0.83	1.16
16:00	0.26	0.59	1.01	0.66	0.93	1.26
17:00	-0.05	0.41	0.86	0.40	0.79	1.14
Mean	-0.29	0.22	0.63	0.21	0.62	1.04
Std. Err	0.17	0.11	0.12	0.14	0.10	0.07

PMV, predicted mean vote; clo, clothing insulation; met, metabolic rate; Std. Err., standard error.

Table 6. PPD with metabolic rate, clothing insulation and time.

Time	PPD (%)					
	0.50 clo			0.75 clo		
	1.2 met	2.4 met	3.6 met	1.2 met	2.4 met	3.6 met
7:00	31.8	7.1	5.0	9.9	5.4	12.2
8:00	22.5	5.6	5.4	6.9	6.4	16.0
9:00	24.7	6.1	5.6	7.5	6.2	17.6
10:00	15.6	5.1	8.0	5.4	8.4	24.8
11:00	12.2	5.0	10.1	5.0	10.2	29.3
12:00	5.1	8.1	19.5	8.2	17.8	31.4
13:00	7.4	12.8	28.0	16.0	23.5	39.7
14:00	11.7	16.8	30.5	22.8	28.2	41.5
15:00	5.0	9.3	21.7	9.6	19.5	33.4
16:00	6.4	12.2	26.5	14.2	23.3	38.3
17:00	5.1	8.6	20.6	8.3	18.3	32.2
Mean	13.41	8.80	16.44	10.34	15.20	28.76
Std. Err	2.78	1.13	2.97	1.61	2.46	3.00

PPD, predicted percentage of dissatisfied; clo, clothing insulation; Std. Err., standard error.

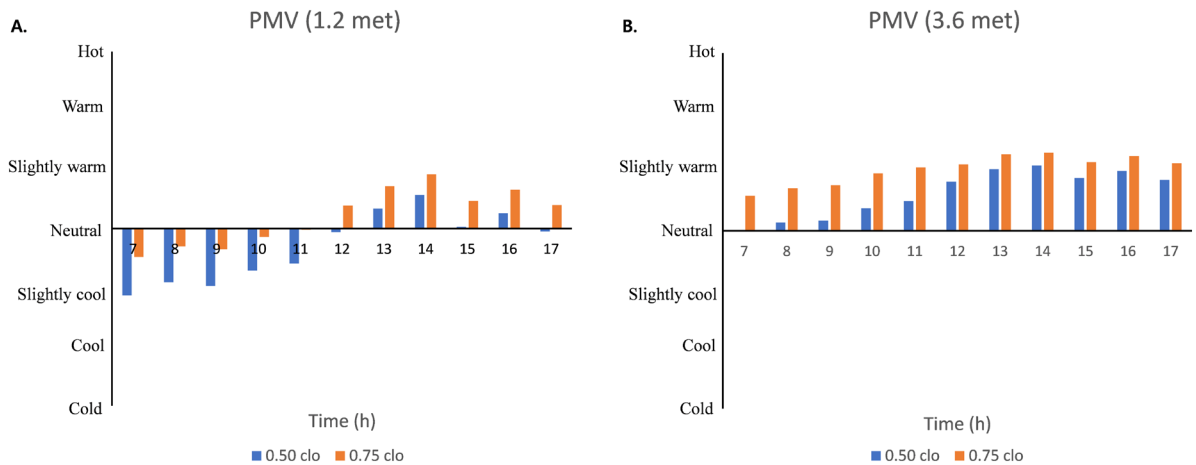


Fig. 4. Comparison of predicted mean vote (PMV) by metabolic rate. (A) PMV with 1.2 met, (B) PMV with 3.6 met.

ISO 7730에서는 바람직한 열 환경을 PPD 15%, $-0.7 < PMV < 0.7$ 이내에서 정하고 있다. 하지만 개인차 때문에 모든 사람이 만족할 만한 열 환경을 지정하는 것은 불가능하며 일정비율의 사람들에 의하여 수용 가능한 예상 환경을 규정하고 의복이나 활동에 따라 개별적으로 열환경을 조절할 수 있다고 하였다. 분석결과 오전 7시에서 오전 11시 사이의 시간대는 가벼운 외투로 열 환경을 조절하여 다양한 활동을 쾌적한 열환경에서 수행할 수 있다. 비교적 높은 열환경을 나타내는 오후 2시 전후로는 대사량이 높은 활동보다는 명상이나 호흡과 같은 휴식활동이나 대사량이 낮은 활동을 하는 것이 상대적으로 쾌적한 열환경을 가지는 것으로 나타났다.

조사된 충남대학교 학술림은 시간대와 활동에 따라 열쾌적성의 정도가 다르게 분석되었다. 그러나 의복이나 활동의 종류를 조절하는 것으로 쾌적한 상태의 열환경을 충족할 수 있는 것으로 나타났다. 시간대별로 적합한 강도의 신체활동 프로그램을 구성하여 시민들이 쉽게 활용할 수 있도록 홍보와 적용이 필요하다. 충남대학교 학술림은 다양한 건강증진프로그램에 알맞은 열쾌적성을 가진 장소이므로 이용하는 시민이 늘어날수록 지역의 사회적 후생 또한 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Conclusion

본 연구는 대전 유성구에 위치한 충남대학교 학술림에서 9월 12일 3회기 NVOCs 배출량을 분석하고, 오전 7시부터 오후 5시까지 온열인자를 측정하여 매 시간별 열쾌적성을 분석하였다. NVOCs 분석결과 총 7종이 검출되었으며, alpha pinene이 65%로 가장 높은 구성비를 차지하였다. 포집시간 별로는 일몰, 일출, 남중시각 순서대로 높은 검출량을 보였다. 열쾌적성 분석결과 PMV는 -1.13 (약간 서늘한)에서 +1.32 (약간 따뜻한) 범위내에 있으며 시간변화에 따른 열쾌적성은 오후 2시가 PMV + 1.32, PPD 41.5% (착의량 0.75, 대사량 3.6)으로 측정시간 동안 상한점의 열 환경을 나타내고 있다. 활동량에 따른 변화는 오전 7시에서 오전 10시까지의 시간대에서 대사량 1.2 (착의량 0.50)의 활동에서는 ‘약간 서늘한’ 상태이나 대사량 3.6 (착의량 0.50) 활동에서는 ‘덥지도 춥지도 않은’ 열쾌적성을 가진다. 대사량 2.4 (착의량 0.50)의 활동시는 오후 2시를 제외한 모든 시간대에 쾌적한 열적 환경을 가지는 것으로 나타났다. 대사량 3.6 (착의량 0.50)의 활동은 오후 12시 이전 오전에 활동하는 것이 열적으로 쾌적한 환경을 가지는 것으로 분석되었다.

본 연구는 9월에 측정한 자료로 결과를 도출하여 가을 전체의 추세를 파악하는 것에 한계를 가지고 있다. 1일 동안 측정된 조사자료이지만 이를 통해 가을철 충남대학교 학술림은 건강증진 치유헬동을 위한 환경측면에서 alpha pinene 및 beta pinene의 구성비가 높은 NVOCs가 방산되며, 활동과 의복 수준으로 열적으로 쾌적한 환경을 조절할 수 있어 치유헬경으로의 활용성을 가진 것을 확인하였다. 앞으로 계절별, 시간에 따른 열적 환경과 NVOCs를 추가적으로 조사, 분석하여 이에 맞는 건강증진 프로그램을 개발하고 지역사회에 제공하는 것이 필요하겠다. 도심지에 있는 충남대학교 학술림의 치유인자인 NVOCs와 열쾌적성을 분석하고 이를 바탕으로 건강증진 치유헬경으로 활용을 가능하게 하여 지역사회의 후생에 기여하는 효과가 기대된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

Authors Information

Hyelim Lee, <https://orcid.org/0000-0001-6155-0725>

Dawou Joung, <https://orcid.org/0000-0001-6984-9297>

Siok An, <https://orcid.org/0000-0003-1598-4359>

Doyun Song, <https://orcid.org/0000-0002-6581-9944>

Bum-Jin Park, <https://orcid.org/0000-0002-5214-5688>

Seungmo Koo, <https://orcid.org/0000-0003-1604-3294>

References

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). 2017. Thermal environmental conditions for human occupancy. In ANSI/ASHRAE Standard 55:2017.
- Chung JY. 2001. Establishing sustainable city through improvement in city park system: An analysis and planning of Daejeon's park system. *The Research Review of Regional Development* 13:105-130. [in Korean]
- DMC (Daejeon Metropolitan City). 2022. City park green space 2022. DMC, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Hur YI, Huh Y, Lee JH, Lee CB, Kim BY, Yu SH, Kim JH, Kim JW, Kim HM, Lee MK, et al. 2022. Factors associated with body weight gain among Korean adults during the COVID-19 pandemic. *Journal of Obesity & Metabolic Syndrome* 31:51-60.
- ISO (International Organization for Standardization). 2012. Ergonomics of the thermal environment—instruments for measuring physical quantities. In ISO 7726:1998.
- ISO (International Organization for Standardization). 2015. Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. In ISO 7730:2005.

- Jeong SY, Bae YT, Lee JK, Adzic T, Lee SM, Lee KJ, Shin MY, Ko DW, Kim KW. 2017. Analysis of the phytoncide emission trend in Saneum Recreational Forest. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 21:65-73. [in Korean]
- Joung D, Kim G, Choi Y, Lim H, Park S, Woo JM, Park BJ. 2015. The prefrontal cortex activity and psychological effects of viewing forest landscapes in autumn season. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12:7235-7243.
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2020. Korea health statistics 2020: Korea national health and nutrition examination survey (KNHANES VIII-2). pp. 22-27. KDCA, Cheongju, Korea. [in Korean]
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2021. Changes in health behavior and chronic diseases after the COVID-19 Pandemic. p. 7. KDCA, Cheongju, Korea. [in Korean]
- Khil TG, Shin WS. 2020. Analysis of environmental factors for forest healing in Cheongtaesan Natural Recreation Forest. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 24:47-57. [in Korean]
- Kim CG, Cho MK, Kim JI. 2012. Effects of phytoncide aromatherapy on stress, symptoms of stress and heart rate variability among nursing students. *Journal of Korean Biological Nursing Science* 14:249-257. DOI:10.7586/jkbns.2012.14.4.249. [in Korean]
- Kim GW. 2014. Relationship between seasonal NVOC concentration and physical environment in *Pinus densiflora* forest. Chungnam National University, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Kim HR, Kim MH, An KW. 2017. Historical study and economic impact analysis on the university forest in Chonnam National University. *Korean Journal of Forest Economics* 24:11-24. [in Korean]
- Kim JC, Hong JH, Gang CH, Sunwoo Y, Kim KJ, Lim JH. 2004. Comparison of monoterpene emission rates from conifers. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 20:175-183. [in Korean]
- Kim SB, Kwak KH, Jeoung WH. 2003. Mountainous Rural Economy and University Forest of CNU. *Korean Journal of Forest Economics* 11:60-66. [in Korean]
- Kim YM, Kim HJ. 2022. A study on effectiveness of chronic disease online program due to COVID-19. *Journal of Digital Convergence* 20:759-768. [in Korean]
- KS. 2021a. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. In KS A ISO 7730:2005. [in Korean]
- KS. 2021b. Ergonomics of the thermal environment—Determination of metabolic rate. In KS A ISO 8996:2004. [in Korean]
- Kwon TH, Kim TK. 1999. Application of geographic information systems for effective management of university forests. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 2:81-90. [in Korean]
- Lee IS, Kim SB, Jeoung WH, Lee BY. 1998. Studies on visitors' use characteristics in campus forest of Chungnam National University. *Korean Journal of Agricultural Science* 25:33-40. [in Korean]
- Lee JW, Yeon PS, Park SH, Kang JW. 2018. Effects of forest therapy programs on the stress and emotional change of emotional labor workers. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 22:15-22. [in Korean]
- Lee JY, Park KT, Lee MS, Park BJ, Ku HJ, Lee JW, Oh KO, An KW, Miyazaki Y. 2011. Evidence-based field research on health benefits of urban green area. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 39:111-118. [in Korean]
- Lee MJ, Kim SY, Choi JK. 2021. The effect of forest therapy program on the cognitive function of the elderly. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 25:25-34. DOI:10.34272/forest.2021.25.4.003. [in Korean]
- Li Q, Kobayashi M, Wakayama Y, Inagaki H, Katsumata M, Hirata Y, Hirata K, Shimizu T, Kawada T, Park BJ, et al. 2009. Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology* 22:951-959.
- Min JU, Kim SH. 2019. Effects of phytoncide-rich indoor exercise on cardiovascular index, stress and antioxidant capacity changes. *Journal of Sport and Leisure Studies* 77:487-496. [in Korean]
- MOHW (Ministry of Health and Welfare). 2021a. WHO guidelines on physical activity and sedentary behavior. MOHW, Sejong, Korea. [in Korean]
- MOHW (Ministry of Health and Welfare). 2021b. Health plan 2030. MOHW, Sejong, Korea. [in Korean]

- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2018. Phytoncide concentration and microclimatic factors occurrence characteristics of pine forest. NIFoS, Seoul, Korea. [in Korean]
- Oh KK, Jee YK, Shim HY, Kim SH. 2005. Monitoring the development process of edge vegetation structure in deciduous broad-leaved forest (II)-focused on the case study from the Baekwoonsan Research Forest, Seoul National University. *Korean Journal of Environment and Ecology* 19:258-268. [in Korean]
- Park BJ, Kim JJ, Byeon JG, Cheon K, Joo SH, Lee YG. 2016. The classification of forest community and character of stand structure in Mt. Myeonbong-focused on research forest in Kyungpook National University, Cheongsong. *Journal of Korean Society of Forest Science* 105:391-400. [in Korean]
- Park HS, Shin CS, Yeoun PS, Kim JY. 2014. A comparative study on the stress recovery effect of forest therapy. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 18:13-24. [in Korean]
- Park KJ, Shin CS, Yeon PS. 2021a. Identification of the effectiveness of forest therapy factors by disease through review of forest therapy experience essays. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 25:1-12. [in Korean]
- Park MJ, Choi WS, Cho M, Kim J, Kim J, Lee YK. 2021b. Variations in monoterpene emissions from *Pinus densiflora* in Simwon Village at Jiri Mountain. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110:13-21. [in Korean]
- Park YJ, Park HH, Ryu SY. 2010. Factors associated with active participation in health promotion programs at a public health center. *Journal of Agricultural Medicine and Community Health* 35:287-300. [in Korean]
- Salehi B, Upadhyay S, Erdogan Orhan I, Kumar Jugran A, Jayaweera SLD, Dias DA, Sharopov F, Taheri Y, Martins N, Baghalpour N, et al., 2019. Therapeutic potential of α - and β -Pinene: A miracle gift of nature. *Biomolecules* 9:738. DOI:10.3390/biom9110738.
- Seo H, Park D, Yim J, Lee J. 2012. Assessment of forest biomass using k-neighbor techniques-a case study in the research forest at Kangwon National University. *Journal of Korean Society of Forest Science* 101:547-557. [in Korean]
- Seo SH, Yoo RH, Lee KH, An KW, 2006. Application of GIS to evaluate forest functions-focused on Chonnam National University Experiment Forest. *Korean Journal of Forest Economics* 14:45-54. [in Korean]
- Sung H, Kim WR, Oh J, Lee S, Lee PSH. 2022. Are all urban parks robust to the COVID-19 pandemic? Focusing on type, functionality, and accessibility. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19:6062.
- Tartarini F, Schiavon S, Cheung T, Hoyt T. 2020. CBE thermal comfort tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX* 12:100563. DOI:10.1016/j.softx.2020.100563.
- Toselli S, Bragonzoni L, Grigoletto A, Masini A, Marini S, Barone G, Pinelli E, Zinno R, Mauro M, Pilone P, et al. 2022. Effect of a park-based physical activity intervention on psychological wellbeing at the time of COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19:6028.
- Van Hoof J. 2008. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? *Indoor Air* 18:182-201.