

여름철 활엽수림에서의 휴식이 온열환경 쾌적성 및 인체의 생리·심리적 반응에 미치는 영향

김주현¹ · 송인준¹ · 김초윤¹ · 정다워² · 이윤정³ · 박범진^{ID}^{4*} · 송초롱^{ID}^{1*}

¹국립공주대학교 산림과학과, ²충남대학교 농업과학연구소,

³경인여자대학교 간호학과, ⁴충남대학교 산림환경자원학과

Thermal Comfort and the Physiological and Psychological Effects of Spending Time in Broad-Leaved Forests in Summers

Juhyeon Kim¹, Injoon Song¹, Choyun Kim¹, Dawou Joung², Yunjeong Yi³,
Bum-Jin Park^{ID}^{4*} and Chorong Song^{ID}^{1*}

¹Department of Forest Science, Kongju National University, Yesan-gun 32439, Korea

²Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Department of Nursing, Kyung-In Women's University, Incheon 21041, Korea

⁴Department of Forest Environment & Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

요약: 활엽수림은 여름철에 착엽을 통해 일사를 차단하여 열 스트레스를 완화하는 역할을 하는 것으로 알려져 있지만, 이와 관련된 데이터의 축적은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 여름철 활엽수림에서의 휴식이 온열환경 쾌적성 및 인체의 생리·심리적 반응에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 연구대상자는 남녀 대학생 32명(21.5±2.1세)으로 하였다. 연구대상자는 두 명이 한 조를 이루어 각각 실험지(수관율폐도: 76.6%)와 대조실험지(25.9%)로 이동하였고, 일련의 실험과정을 이후 장소를 교대하여 같은 실험을 진행하였다. 실험과정은 다음과 같다. 연구대상자는 의자에 앉아 휴식한 후, 눈을 감고 5분 동안 안정을 취하였다. 이때의 온열환경 쾌적성을 평가하고 심박변이도, 심박수, 이마체온을 연속적으로 측정하였다. 이후 혈압 및 맥박수를 측정하였으며, 주관평가를 진행하였다. 그 결과, 실험지는 통계적으로 유의미한 예상평균한서감지수 및 예상불만족률의 감소, 부교감신경활동의 증가, 심박수·이마체온·이완기혈압·맥박수의 감소가 나타났으며, 주관적 온열감 및 쾌적감이 개선되었다. 결론적으로, 수관율폐도가 높은 활엽수림은 여름철 온열 스트레스를 감소시키며, 인체를 생리·심리적으로 안정시킨다는 것을 확인하였다.

Abstract: The purpose of this study was to reveal the thermal comfort and physiological and psychological effects of spending time in broad-leaved forests in summer. Thirty-one university students (with an average age of 21.4 ± 2.1 years) participated in the study, and a within-subjects experimental design methodology was used. The participants moved to an experimental site (with a crown closure of 76.6%) or a control site (25.9%), sat on a chair to eliminate the impact of movement, and rested for 5 minutes with closed eyes. At this time, thermal comfort, heart rate variability, heart rate, and forehead temperature were continuously measured. After that, blood pressure and pulse rate were measured, and a subjective evaluation was conducted. As a result, spending time at an experimental site showed a statistically significant decrease in the predicted mean vote and the percentage of dissatisfied values, enhancement of parasympathetic nerve activity, decrease of forehead temperature, diastolic blood pressure, heart rate, pulse rate, and improvement of personal thermal sensation (thermal sensation vote and comfort sensation vote). In conclusion, it was found that a forest with high crown closure reduces thermal stress and induces physiological and psychological relaxation.

Key words: crown closure, relaxation, heart rate variability, body temperature, personal thermal sensation

* Corresponding author

E-mail: bjpark@cnu.ac.kr(B.-J.P.); crsong@kongju.ac.kr(C.S.)

ORCID

Bum-Jin Park ^{ID} <https://orcid.org/0000-0002-5214-5688>

Chorong Song ^{ID} <https://orcid.org/0000-0002-1924-1053>

서론

최근, 폭염으로 인하여 여름철 온열질환의 발생이 증가하고 있다(KDCA, 2022). 특히 도시에서의 생활은 도시열섬현상, 열대야 등으로 인해 극심한 열 스트레스를 유발하고 있으며, 이에 따라 휴양·휴식·치유를 목적으로 산림을 방문하는 인원이 꾸준히 증가하고 있다(KNPS, 2022).

실제로 산림은 열 스트레스를 완화하는데 효과적인 장소로 주목받고 있으며, 다양한 연구를 통해 여름철 온열환경의 개선에 긍정적인 영향을 미친다는 사실이 밝혀지고 있다(Park et al., 2011; Jung et al., 2013; Gillerot et al., 2022). Gillerot et al. (2022)은 나무가 있는 공간이 그렇지 않은 곳보다 열 스트레스의 발생을 감소시킨다는 것을 밝혔다. 또한, Park et al. (2011)은 산림과 도시에서 15분 동안 머물렀을 때의 온열환경 쾌적성을 평가하고, 기분상태를 조사하였으며, 그 결과 산림은 도시보다 열적으로 쾌적하며, 기분상태가 개선된다는 것을 보고하였다. Jung et al. (2013)은 산림 내에서도 수목이 있는 공간과 그렇지 않은 공간(잔디광장)에서 온열환경 쾌적성 및 인체의 반응에 차이가 있다는 사실을 밝혔다. 따라서 여름철 산림 방문객의 수요 및 요구를 만족시키기 위해서는 산림 내부에서 효과적으로 열 스트레스를 완화하고, 온열환경 쾌적성을 높일 수 있는 산림 공간의 특성을 도출하여, 이에 알맞은 산림 공간의 조성 및 관리가 매우 중요하다고 할 수 있다.

특히, 여름철의 온열환경 쾌적성은 산림의 층위 구성, 수목의 밀도 또는 수종과 같은 산림 공간의 특성에 따라 달라진다는 사실이 보고되고 있다(Park et al., 2015; Wang et al., 2018; Colter et al., 2019; Kim et al., 2019). Wang et al. (2018)은 산림 공간의 구성에 따른 열쾌적성의 차이에 주목하여 관목이 있는 공간, 관목과 교목이 있는 공간, 교목과 연못이 있는 공간을 대상으로 하여 생리적 열 스트레스(Physiological equivalent temperature; PET)를 조사한 결과, 관목과 교목이 있는 공간의 열 스트레스가 가장 낮게 나타났으며 이는 수목의 수에 기인한다고 보고하였다. Park et al. (2015)은 수목의 밀도에 주목하여 임목밀도가 80%와 120%인 산림환경의 예상평균한서감지수(Predicted mean vote; PMV)와 예상불만족률(Predicted percentage of dissatisfied; PPD), 심박변이도 및 심박수를 조사하였으며, 120%인 산림이 80%인 산림보다 PMV와 PPD가 유의하게 낮았고, 부교감신경활동인 HF 값이 유의하게 높았으며, 교감신경활동 지표인 LF/HF 비율이 낮게 나타났다는 결과를 도출하였다. Kim et al. (2019)은 수관율폐도가 0%, 50%, 100%인 산림환경에서의 PMV와 PPD를 조사하여,

수관율폐도가 100%인 산림이 다른 산림보다 열적으로 유의하게 쾌적하다는 것을 밝혔다. 또한, Colter et al. (2019)은 다양한 수종의 나무그늘과 인공그늘에서의 PET를 측정한 결과, 모든 수종의 나무그늘이 인공그늘보다 열 스트레스가 적었으며, 수종에 따라 열 스트레스의 정도가 다르게 나타난다는 것을 보고하였다.

그러나, 온열환경 쾌적성 평가 시 실제로 사람이 해당 환경에 직접 노출되었을 때의 생리·심리적 반응을 다양한 평가 지표를 활용하여 종합적으로 조사한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 여름철 활엽수림에서의 휴식이 온열환경 쾌적성 및 인체의 생리·심리적 반응에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 하였으며, 예상평균한서감지수와 예상불만족률, 심박변이도, 심박수, 혈압, 이마체온, 주관적 온열감 및 쾌적감 지표를 종합적으로 사용하여 이들의 관계를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상자

본 연구는 인간대상연구에 해당하여, K대학교 기관생명윤리위원회의 심의를 받아 안전하게 진행하였다(KNU_IRB_2022-108). 연구대상자는 만 18세 이상의 건강한 성인으로 하였으며, 의사소통이 불가능한 자, 질환자, 심장 질환 및 뇌혈관질환 병력이 있는 자, 고혈압자는 제외하였다. 최종적으로 남녀 32명(21.5±2.1세; 평균±표준편차)이 본 연구에 참여하였으며, 연구대상자 특성은 Table 1에 나타내었다.

2. 연구대상지

본 연구는 K 대학교 부속 학술림(충청남도 예산군 대흥면 갈신리 산 53)에서 진행되었다. 수관율폐도에 따라 달

Table 1. Participant characteristics.

Parameter	All participants (N=32)	Male participants (N=15)	Female participants (N=17)
Age (years)	21.5±2.1	21.9±1.6	21.1±2.4
Height (cm)	168.5±11.1	177.7±7.3	160.4±6.5
Weight (kg)	64.8±11.5	73.5±9.8	57.1±6.0
Body mass index (kg/m ²)	22.5±2.9	23.2±2.1	21.8±3.4

Mean±standard deviation

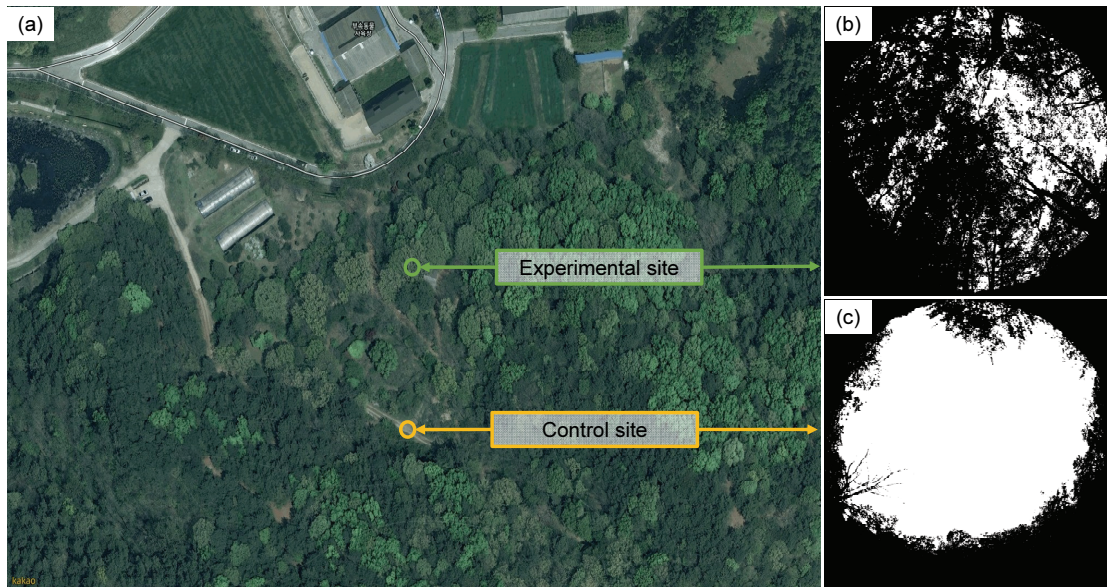


Figure 1. (a) The location of the two experimental sites and photographs of the crown closure in (b) experimental and (c) control sites.

Table 2. Location characteristics in experimental sites.

Date	Experimental site	Control site
Altitude (m)	119	126
Aspect (°)	297	330
Slope degree (°)	15	5
Litter layer (cm)	3	1

라지는 온열환경 쾌적성 및 인체에 미치는 영향을 규명하기 위해 수관올폐도가 높은 산림(동경 126°51'58.22", 북위 36°40'00.90"; 이하 실험지)과 낮은 산림(동경 126°51'58.66", 북위 36°39'58.92"; 이하 대조지)을 연구대상지로 선정하였다[Figure 1(a)]. 수관올폐도는 Sigma EX DG 구경 8 mm의 어안렌즈(1:3.5)를 Canon EOS 5D 카메라에 장착하여 촬영한 사진을 Gap Light Analyzer 프로그램을 통해 산출하였다[실험지: 76.6%, 대조지: 25.9%, Figure 1(b), 1(c)].

실험지와 대조지의 입지환경 특성을 Table 2에 나타내었다. 연구대상지의 착석 위치를 중심으로 원형 방형구(반경: 11.3 m, 면적: 400 m²)를 설정하여 식생 및 매목조사를 실시하였다. 실험지는 흉고직경이 6 cm 이상인 수목이 총 44개체였고, 교목층의 중요치는 졸참나무가 41.4%로 가장 높게 나타났으며 우점하고 있었다. 대조지에서는 흉고직경 6 cm 이상인 수목이 총 8개체, 교목층의 중요치는 아까시나무가 64.8%로 가장 높게 나타났으며, 우점하고 있었다.

Table 3에는 실험일의 날씨 및 물리적 환경조건을 나타내었다.

3. 실험 방법

실험은 2022년 8월 18일과 8월 22일의 이틀에 걸쳐 진행하였다. 전체적인 실험 순서 및 절차는 Figure 2에 나타내었다. 본 연구는 피험자 내 실험 디자인(within-subject experimental design)으로 진행되었으며, 자극 제시 순서의

Table 3. Details of the experiment sites.

Date	18 August 2022		22 August 2022	
Weather	Sunny		Sunny	
Location	Experimental site	Control site	Experimental site	Control site
Temperature (°C)	26.4±1.7	28.1±2.7	27.8±1.3	28.7±1.8
Wind speed (m/s)	0.2±0.3	0.3±0.4	0.1±0.3	0.4±0.5
Relative humidity (%RH)	71.5±6.7	68.8±9.7	76.0±6.1	75.2±6.7
Mean radiation temperature (°C)	27.3±3.0	40.7±13.9	28.5±1.9	39.7±13.5

Mean±standard deviation

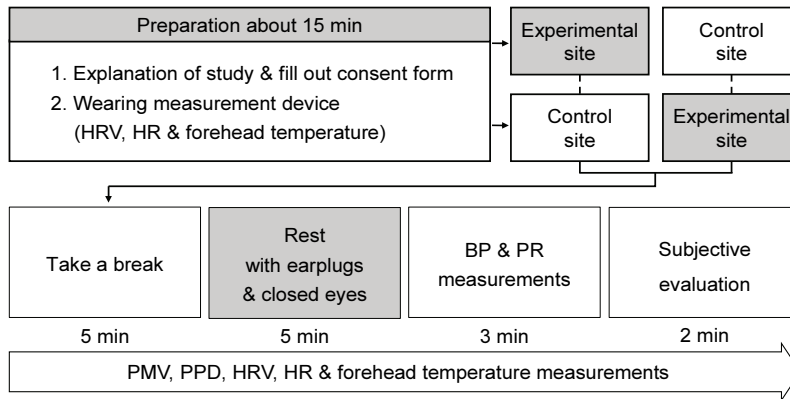


Figure 2. Experimental design.

BP(blood pressure); HR(heart rate); HRV(heart rate variability); PMV(predicted mean vote); PPD(predicted percentage of dissatisfied); PR(pulse rate).

영향을 배제하기 위하여 연구대상자는 두 명씩 한 조를 이루어 서로 다른 장소로 이동하여 실험을 진행하였다. 이후 실험지에서 먼저 측정된 연구대상자는 대조지로 이동하고, 대조지에서 먼저 측정된 연구대상자는 실험지로 이동하는 방식으로 교차하였고, 동일한 시각에 각각의 연구대상지에서 동일한 절차로 실험을 진행하였다.

실험 세부 절차는 다음과 같다. 연구대상자는 실험 전날 충분히 수면을 취한 뒤 실험에 참여하였으며, 실험 시작 두 시간 전부터 식사와 카페인 음료, 니코틴 섭취를 금지하도록 안내받았다. 실험 당일 대기실에 도착하여 실험에 대한 충분한 설명을 듣고 동의서를 작성하였다. 심박변이도와 심박수, 체온 측정 장비를 장착하였으며, 이때부터 실험 종료 시까지 연속적으로 측정하였다. 실험자의 안내에 따라 각각의 연구대상지에 도착한 후, 이동으로 인한 영향을 배제하기 위해서 의자에 앉아 편안한 상태로 5분 동안 휴식을 취하였다. 이후, 시각과 청각 자극을 차단하기 위하여 이어플러그를 착용한 후 눈을 감고 5분 동안 안정을 취하였으며(Figure 3), 혈압과 맥박수를 측정된 다음 주관적 온열감과 쾌적감에 대한 설문조사를 실시하였다.



Figure 3. The experimental scene. (a) Experimental site. (b) Control site.

4. 연구도구

1) 물리적 환경조건 측정 및 온열환경 쾌적성 평가
두 실험지의 물리적 환경조건을 조사하기 위하여 기온, 풍속, 상대습도, 흑구온도를 측정하였으며, 측정된 값을 바탕으로 평균복사온도를 산출하였다. 본 연구에서는 휴대용 기상환경계측기(kestrel 5400, Nielsen Kellerman Corporation, USA)를 사용하였다.

온열환경 쾌적성 평가 지표로 예상 평균 한서감 지수(Predicted Mean Vote; 이하 PMV)와 예상 불만족률(Predicted Percentage of Dissatisfied; 이하 PPD)을 사용하였다. PMV는 7점 척도로 대규모 집단의 사람들이 표현하는 덥고 추운 정도를 뜻하는 한서감의 평균값을 예측하는 지수이며(Fanger, 1970), PPD는 대규모 집단에서 덥거나 추운 열적으로 불만족한 사람들의 수를 예측하는 비율이다(Fanger, 1970). PMV와 PPD는 기온, 평균복사온도, 풍속, 상대습도, 대사율, 착의량을 기반으로 인체의 열 균형에 근거하여 산출한다(KATS, 2010). 본 연구에서 대사율은 앉아서 휴식하는 수준의 1.0 met로 설정하였으며, 착의량은 반소매 티셔츠(0.15clo), 보통 두께의 긴바지(0.25clo), 양말(0.02clo), 팬티(0.03clo), 얇은 밑창의 신발(0.02clo)로 설정하여 총 0.47clo로 설정하였다.

PMV와 PPD는 실험 시작 시각인 09시부터 종료 시각인 18시까지 연속적으로 측정하였다.

2) 생리지표 측정

(1) 심박변이도 및 심박수

자율신경계 반응을 측정하기 위하여 심박변이도를 사용하였다. 심전도 모니터 myBeat(WHS-1, UNION TOOL CO., Japan)를 이용하여 R파와 R파 사이의 간격 변화(R-R Interval; RRI)를 측정하였다(Kobayashi et al., 1999). RRI

데이터의 주파수 분석은 최대엔트로피법(Memcalc/win; GMS, Japan)을 사용하였으며, LF(Low Frequency, 0.04-0.15 Hz), HF(High Frequency, 0.15-0.4 Hz), LF/HF 비율을 산출하였다(Kanaya, 2003). HF 값은 생리적으로 안정 시 활성화되는 부교감신경활동을 반영하며, LF/HF 비율은 긴장 또는 스트레스 상태에서 활성화되는 교감신경활동을 반영한다(Cacioppo et al., 1994).

심박수는 동일한 심전도 모니터를 사용하여 1분 동안의 심장박동의 횡수를 측정하였다.

(2) 혈압 및 맥박수

상향 가압방식의 자동혈압계 P2100 model(Terumo, Japan)을 사용하여, 수축기혈압, 이완기혈압, 맥박수를 측정하였다. 혈압의 측정값은 측정 시의 자세에 따라 달라질 수 있으므로(Song and Lee, 2011), 두 실험지의 책상과 의자를 동일하게 설치하였으며, 가급적 혈압 측정 시의 자세를 동일하게 유지하도록 안내하였다. 연구대상자는 의자에 앉아 정면을 바라보고, 양쪽 어깨의 수평을 맞춘 상태에서 오른팔 상완에서 혈압 및 맥박수를 1회 측정하였다.

(3) 체온

심부체온이 측정되는 위치는 고막, 식도, 직장, 방광 등이 있으나(Kim, 2004), 본 연구는 야외에서 진행되었기 때문에, 심부체온과 가장 유사한 이마체온을 측정하였다(Yi et al., 2022). 이마체온은 LT-8A(Technox, Korea) 기기를 사용하여 측정하였다.

3) 심리지표 측정

(1) 주관적 온열감 및 쾌적감

주관적 온열감(Thermal Sensation Vote; 이하 TSV)과 주관적 쾌적감(Comfort Sensation Vote; 이하 CSV)을 심리지표로 사용하였다(Schiller, 1990). 주관적 온열감은 ‘더운-추운(hot-cold)’ 감각에 대하여 7점 척도로 평가하며, 주관적 쾌적감은 ‘쾌적한-매우 불쾌한(comfortable-very uncomfortable)’ 감각에 대한 4점 척도로 구성되어 있다.

5. 데이터 정리 및 분석 방법

본 연구에는 총 32명의 연구대상자가 참여하였으나, 1명이 중도 탈락하여 31명의 데이터를 사용하였다. 이마체온, 심박변이도, 심박수의 경우 각각 1명의 데이터가 측정 오류 및 분석 불가로 인해 30명의 데이터를 사용하였다.

PMV, PPD, 심박변이도, 심박수, 체온은 연구대상자가 이어플러그를 착용한 후 눈을 감고 안정을 취한 5분 동안의 값을 추출하여 분석에 사용하였다.

SPSS 27.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여,

실험지와 대조지의 온열환경 쾌적성 및 생리·심리적 반응의 차이를 분석하였다. 물리적 환경조건과 온열환경 쾌적성 평가 지표의 통계분석에는 독립표본 *t*-검정(independent *t*-test), 생리적 평가 지표는 대응표본 *t*-검정(paired *t*-test), 심리적 평가 지표는 비모수통계의 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 사용하였다. 유의수준은 $p<0.05$ 로 설정하였다.

입목밀도나 수관울폐도가 높은 산림은 낮은 산림보다 온열환경 쾌적성이 높다는 연구 결과를 바탕으로(Park et al., 2015; Kim et al., 2019; Kim et al., 2023), 여름철 휴식 시 수관울폐도가 높은 산림은 수관울폐도가 낮은 산림과 비교하여 온열환경 쾌적성이 향상되고 인체가 생리·심리적으로 안정될 것이라는 가설을 설정하여 편측검정을 실시하였다.

결 과

1. 물리적 환경조건 측정 및 온열환경 쾌적성 평가 결과

1) 물리적 환경조건 측정 결과

Figure 4에 연구대상자가 눈을 감고 안정을 취한 5분 동안의 (a) 기온, (b) 평균복사온도, (c) 풍속, (d) 상대습도를 나타내었다. 실험지는 대조지보다 기온[실험지: $26.8\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

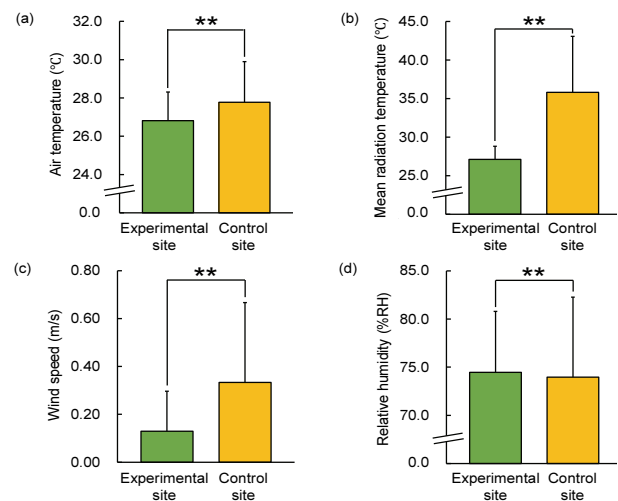


Figure 4. Comparison of physical variables between experimental site and control site.

- Comparison of air temperature during 5 min. N=31, mean±standard deviation, $**p<0.01$ using the independent *t*-test.
- Comparison of mean radiation temperature during 5 min. N=31, mean±standard deviation, $**p<0.01$ using the independent *t*-test.
- Comparison of wind speed during 5 min. N=31, mean±standard deviation, $**p<0.01$ using the independent *t*-test.
- Comparison of relative humidity during 5 min. N=31, mean±standard deviation, $**p<0.01$ using the independent *t*-test.

(평균±표준편차; 이하 동일) vs. 대조지: 27.8±2.1°C, $p<0.01$, Figure 4(a)], 평균복사온도[실험지: 27.1±1.7°C vs. 대조지: 35.8±7.2°C, $p<0.01$, Figure 4(b)], 풍속[실험지: 0.1±0.2m/s vs. 대조지: 0.3±0.3m/s, $p<0.01$, Figure 4(c)]이 유의하게 낮았고, 상대습도는 유의하게 높았다[실험지: 74.5±6.3%RH vs. 대조지: 74.0±8.3%RH, $p<0.01$, Figure 4(d)].

2) 온열환경 쾌적성 평가 결과

Figure 5에 연구대상자가 눈을 감고 안정을 취한 5분 동안의 (a) 각 1분 간격의 PMV 변화와 (b) 5분 전체의 PMV 평균을 나타내었다. 실험지는 대조지 보다 모든 시간에서 PMV 값이 낮게 나타났으며[Figure 5(a)], 5분 평균 PMV 값은 실험지가 유의하게 낮았다[실험지: 0.5±0.6 vs. 대조지: 2.0±1.4, $p<0.01$, Figure 5(b)].

Figure 6에 연구대상자가 눈을 감고 안정을 취한 5분 동안의 (a) 각 1분 간격의 PPD 변화와 (b) 5분 전체의 PPD 평균을 나타내었다. 측정이 진행되는 동안 실험지는 대조지 보다 PPD 값이 모든 시간에서 낮게 나타났으며[Figure 6(a)], 5분 평균 PPD 값은 실험지가 유의하게 낮았다[실험지: 18.5±10.6% vs. 대조지: 59.6±35.0%, $p<0.01$, Figure 6(b)].

2. 생리지표 측정 결과

1) 심박변이도 및 심박수 결과

Figure 7에 부교감신경활동 지표인 HF 데이터의 5분 동안의 변화에 대하여 (a) 각 1분 간격의 변화와 (b) 5분 전체의 평균값을 나타내었다. 실험지는 대조지와 비교하여 측정이 시작된 직후 1분의 HF 값이 낮았으나, 이후에는 높게 나타났으며[Figure 7(a)]. 5분 평균 HF 값은 실험지가 유의하게 높았다[실험지: 485.0±95.2ms²(평균±표준오차; 이하 동일) vs. 대조지: 389.3±58.2ms², $p<0.05$, Figure 7(b)]. 교감신경활동 지표인 LF/HF는 실험지와 대조지에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다.

Figure 8에 심박수 데이터의 5분 동안의 변화에 대하여 (a) 각 1분 간격의 변화와 (b) 5분 전체의 평균값을 나타내었다. 측정이 진행되는 5분 모두 실험지는 대조지에 비해 심박수는 낮았으며[Figure 8(a)], 5분 평균 심박수는 실험지가 유의하게 낮았다[실험지: 75.1±2.5bpm vs. 대조지: 77.6±2.6bpm, $p<0.01$, Figure 8(b)].

2) 혈압 결과

Figure 9에 혈압 데이터의 평균값을 나타내었다. 실험지는 대조지와 비교하여 수축기혈압이 낮은 경향을 나타내며[실험지: 113.2±2.4mmHg vs. 대조지: 114.6±2.1mmHg, $p<0.10$, Figure 9(a)], 이완기혈압[실험지: 66.6±1.6mmHg

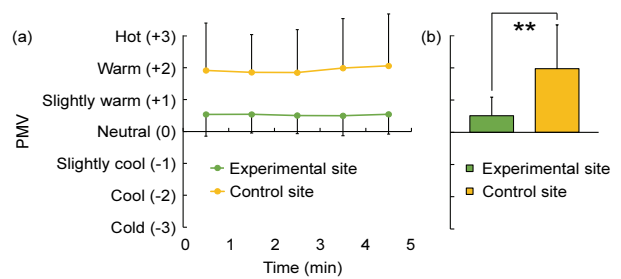


Figure 5. Changes in the predicted mean vote (PMV) between experimental site and control site.

- (a) Changes in each 1 min average PMV over the 5 min experiment. N=31, mean±standard deviation.
- (b) Comparison of mean PMV during 5 min. N=31, mean±standard deviation, ** $p<0.01$ using the independent *t*-test.

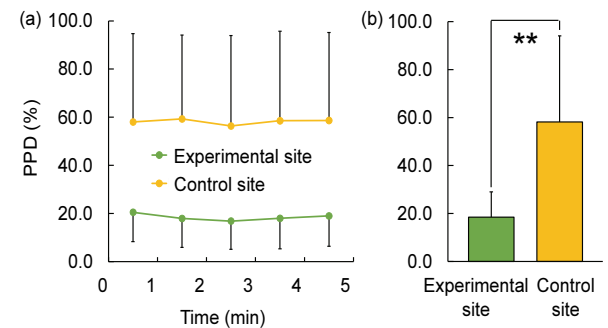


Figure 6. Changes in the predicted percentage of dissatisfied (PPD) between experimental site and control site.

- (a) Changes in each 1 min average PPD over the 5 min experiment. N=31, mean±standard deviation.
- (b) Comparison of mean PPD during 5 min. N=31, mean±standard deviation, ** $p<0.01$ using the independent *t*-test.

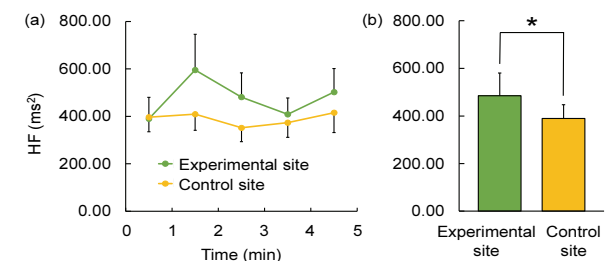


Figure 7. Changes in the high frequency (HF) values between experimental site and control site.

- (a) Changes in each 1 min average HF values over the 5 min experiment. N=30, mean±standard error.
- (b) Comparison of mean HF values during 5 min. N=30, mean±standard error, * $p<0.05$ using the paired *t*-test (one-sided).

vs. 대조지: 69.5±1.5mmHg, $p<0.01$, Figure 9(b)]과 맥박수 [실험지: 74.3±2.2bpm vs. 대조지: 76.7±2.3bpm, $p<0.01$, Figure 9(c)]가 유의하게 낮았다.

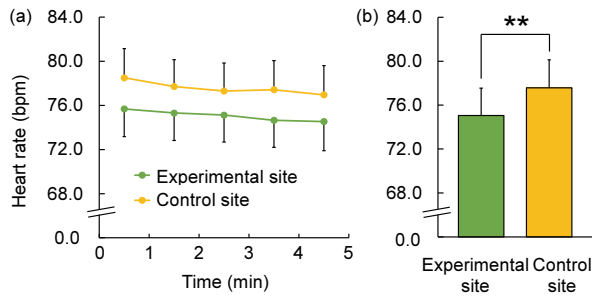


Figure 8. Changes in the heart rate (HR) between experimental site and control site.

- (a) Changes in each 1 min average HR over the 5 min experiment. N=30, mean±standard error.
- (b) Comparison of mean HR during 5 min. N=30, mean±standard error, ** $p < 0.01$ using the paired t-test (one-sided).

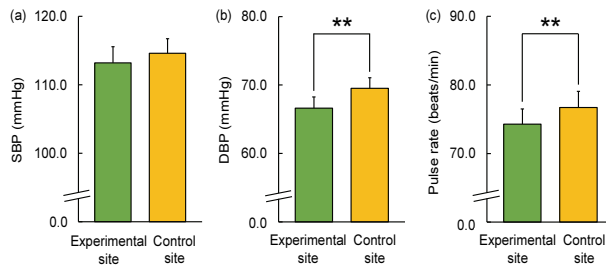


Figure 9. The average systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP) and pulse rate between experimental site and control site.

- (a) Comparison of mean SBP. N=31, mean±standard error
- (b) Comparison of mean DBP. N=31, mean±standard error, ** $p < 0.01$ using the paired t-test (one-sided).
- (c) Comparison of mean pulse rate. N=31, mean±standard error, ** $p < 0.01$ using the paired t-test (one-sided).

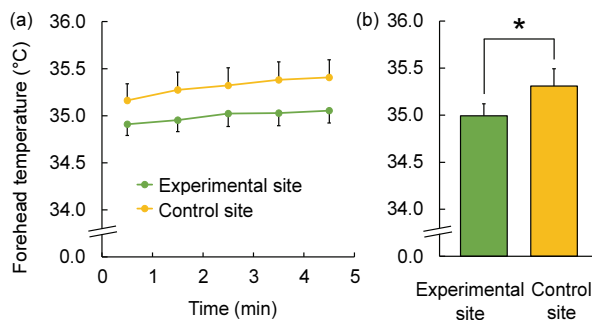


Figure 10. Changes in the forehead temperature between experimental site and control site.

- (a) Changes in each 1 min average forehead temperature over the 5 min experiment. N=30, mean±standard error.
- (b) Comparison of mean forehead temperature during 5 min. N=30, mean±standard error, * $p < 0.05$ using the paired t-test (one-sided).

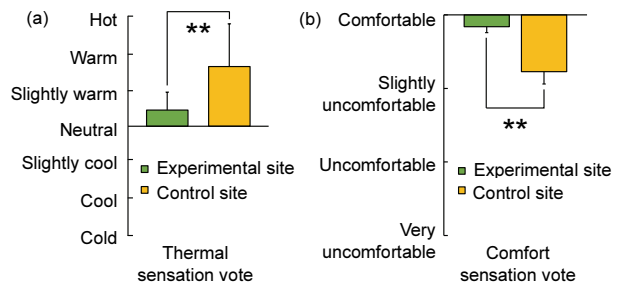


Figure 11. Comparison of thermal sensation vote (TSV) and comfort sensation vote (CSV) scores between experimental site and control site.

- (a) Comparison of the personal sensations of “Thermal”. N=31, mean±standard error. ** $p < 0.01$ using the Wilcoxon signed-rank test (one-sided).
- (b) Comparison of the personal sensations of “Comfort”. N=31, mean±standard error. ** $p < 0.01$ using the Wilcoxon signed-rank test (one-sided).

3) 체온 결과

Figure 10에 이마체온 데이터의 5분 동안의 변화에 대해 (a) 각 1분 간격의 변화와 (b) 5분 전체의 평균값을 나타내었다. 측정이 진행되는 5분 모두 실험지는 대조지와 비교하여 이마체온이 낮게 나타났으며[Figure 10(a)], 5분 평균 이마체온은 실험지가 유의하게 낮았다[실험지: $35.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ vs. 대조지: $35.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$, $p < 0.05$, Figure 10(b)].

3. 심리지표 측정 결과

Figure 11에 주관적 온열감 및 쾌적감을 나타내었다. 실험지는 대조지보다 주관적 온열감이 유의하게 낮았으며 [$p < 0.01$, Figure 11(a)], 주관적 쾌적감은 유의하게 높았다 [$p < 0.01$, Figure 11(b)].

고 찰

본 연구는 여름철 수관울폐도가 다른 활엽수림에서의 휴식 시 온열환경 쾌적성 및 인체의 생리·심리 반응을 검토하였으며, 여름철 산림환경에서의 휴식 시 수관울폐도가 높은 산림은 수관울폐도가 낮은 산림과 비교하여 온열환경 쾌적성이 높으며, 생리·심리적으로 안정된다는 사실을 밝혔다.

물리적 환경조건 분석 결과, 수관울폐도가 높은 산림은 낮은 산림과 비교하여 기온과 상대습도가 유의하게 높았고 평균복사온도와 풍속이 유의하게 낮았다. 물리적 환경조건은 온열환경 쾌적성 평가지표인 PMV를 산출할 때 사용되며, 산출식에서의 가중치가 다르게 적용된다(KATS, 2010). PMV 산출을 위한 도구인 CBE thermal comfort tool

for ASHRAE-55를 사용하여 물리적 환경요소와 온열환경 쾌적성 간의 관계를 살펴보았을 때, PMV 값의 산출에 있어 가장치가 높은 요소는 평균복사온도, 풍속, 기온, 상대 습도의 순으로 나타났다. 이는 평균복사온도가 PMV에 대해 가장 중요도가 큰 변수이며 다음으로 풍속, 기온, 상대 습도라는 선행연구의 결과와 일치한다(Lim et al., 2013). 특히, 중요도가 가장 높은 평균복사온도는 일사량과 양의 상관관계를 가지며(Lee and Ryu, 2014), PMV와도 동일한 양상을 보인다(Lim et al., 2013). 따라서, 여름철 산림환경 조성 시 쾌적한 온열환경을 제공하기 위해서는 수관울폐도를 높여 일사를 차단하는 것이 중요할 것이다.

온열환경 쾌적성 평가 지표 분석 결과, 수관울폐도가 높은 산림에서의 휴식 시 PMV와 PPD가 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 입목밀도 및 수관울폐도가 높은 산림이 그렇지 않은 산림보다 온열환경 쾌적성이 높다는 점에서 선행연구(Park et al., 2015; Kim et al., 2019)의 결과와 일치한다. Park et al. (2015)은 20대 남녀 15명을 대상으로 입목밀도가 80%, 120%인 잣나무림에서의 휴식을 취할 때의 PMV 및 PPD 값을 조사한 결과, 입목밀도가 120%인 잣나무림은 80%인 잣나무림보다 PMV와 PPD가 낮았다고 보고하였다. 또한, Kim et al. (2019)은 수관울폐도가 0%, 50%, 100%인 산림환경에서 온열환경 쾌적성을 조사한 결과, 수관울폐도가 100%인 산림은 다른 산림보다 PMV와 PPD 값이 낮았다고 밝혔다. 따라서, 여름철 산림환경에서의 휴식 시 수관울폐도가 높은 산림은 낮은 산림보다 온열환경이 쾌적한 것으로 판단된다.

생리지표 분석 결과, 수관울폐도가 높은 산림에서의 휴식 시 부교감신경활동 지표인 HF 값이 유의하게 높았으며, 심박수, 이완기혈압, 맥박수, 이마체온은 유의하게 낮았다. 이와 같은 결과는 입목밀도가 다른 산림환경에서 생리 반응을 조사한 선행연구 결과와 부분적으로 일치하였다(Joung et al., 2013; Yi et al., 2022; Kim et al., 2023). 저자의 선행연구에서는 등산 시의 활동량(대사율: 7.38 met)만큼 동적인 활동을 할 경우를 가정하여 여름철 산림환경에서의 운동 시 및 운동 후의 회복구간에서의 생리·심리적 반응의 차이를 검증하였다(Kim et al., 2023). 그 결과, 입목밀도가 높은 산림은 낮은 산림보다 부교감신경활동 지표인 ln(HF) 값이 유의하게 높았으며, 수축기 혈압과 맥박수가 유의하게 낮았다는 사실을 보고하였다. 본 연구에서는 앉아서 휴식을 취할 때(대사율: 1.0met)의 영향을 검증하였고 이는 선행연구의 결과와 일치하였다. 수관울폐도가 높은 산림은 동적인 활동뿐만 아니라 정적인 활동을 하는 것에 있어 생리적 안정을 가져온다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, Joung et al. (2013)은 수목원 내

산림 공간과 잔디광장에서의 휴식 시 심박변이도를 조사한 결과, 산림 공간은 잔디광장보다 HF 값이 유의하게 높게 나타나 생리적으로 안정되었다고 밝혔다. 이러한 연구 결과는 기온이 높은 여름철에 수관울폐도가 높은 산림에서 휴식을 취하는 것은 수관울폐도가 낮은 산림보다 생리적으로 더 안정된다는 것을 시사한다.

심리지표 분석 결과, 수관울폐도가 높은 산림은 낮은 산림보다 주관적 온열감이 유의하게 낮았으며, 주관적 쾌적감이 유의하게 높았다. 이와 같은 결과는 입목밀도가 높은 공간과 낮은 공간에서의 주관적 온열감 및 쾌적감을 비교한 선행연구 결과와 일치하였다(Jeong and Park, 2016; Kim et al., 2023). 이로써, 수관울폐도가 높은 산림에서의 휴식은 생리·심리적으로 안정되는 것을 알 수 있었다. 또한, 본 연구에서 주관적 온열감은 PMV의 결과와 주관적 쾌적감은 PPD의 결과와 부합하는 것으로 나타나, 온열환경 쾌적성 평가 지표의 예측된 결과와 실제 사람이 해당 환경에 노출되었을 때의 심리 반응이 일치하는 것을 알 수 있었다.

이상으로, 수관울폐도가 높은 산림에서의 휴식은 온열환경 쾌적성의 향상 및 생리·심리적 안정에 긍정적인 영향을 준다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 여름철 산림환경에서의 휴식 시에는 수관울폐도가 높은 산림 공간을 활용하는 것이 이용객의 쾌적성 증진 및 만족도 제고에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 활엽수림의 경우, 계절의 변화에 따라 착엽과 낙엽이 발생하여 수관의 개폐 정도가 달라진다. 따라서 계절에 따라 달라지는 온열환경 쾌적성 및 생리·심리적 반응을 규명할 필요가 있다. 계절별 활엽수림의 온열환경 쾌적성 및 생리·심리 반응이 규명된다면, 각 계절에 휴양 및 치유 활동을 진행하기에 적합한 산림 공간의 도출이 가능할 것이다. 또한, 산림환경의 경우 수목의 구조나 밀도에 의해 복사온도, 습도, 풍속 등 물리적 환경조건이 달라지며, 이에 따라 온열환경 쾌적성도 변화한다. 그중 여름철은 수관울폐도가 높을수록 온도가 감소하고, 습도가 증가한다(Kim et al., 2019). 이때 수목의 밀도를 극한으로 높이면 도리어 높은 습도와 낮은 풍속으로 인하여 불쾌감을 유발할 수 있으므로, 단순히 수관울폐도를 높이는 것이 아닌 쾌적한 온열환경을 제공하는 적절한 수관울폐도를 도출하는 것이 중요하다. 향후 다양한 환경에서 취득된 데이터를 바탕으로 수관울폐도와 물리적 환경조건과의 관계성을 규명하기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 마지막으로, 동일한 산림환경 조건에서도 인체의 대사율(활동량)에 따라 온열환경 쾌적성이 달라질 수 있어 이에 대한 검토도 필요하다. 최근 다양한 대사율 조건에서 열적쾌적성

을 조사하여 산림치유 프로그램 운영 시 적합한 활동장소를 규명하기 위한 연구(Song et al., 2022)와 다양한 활동량에 대하여 숲길 탐방로의 열쾌적성을 조사하여 탐방로 이용 편의를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다(An et al., 2022). 향후 다양한 산림 공간에서 대사율을 달리하였을 때의 온열환경 쾌적성을 조사한다면 명상과 같은 정적인 활동과 산책과 같은 동적인 활동 등 산림 휴양활동에 적합한 산림 공간을 도출할 수 있을 것이다. 이는 방문객의 만족도를 향상하고 휴양 및 치유의 효과 향상에 기여할 수 있을 것으로 예상되며, 궁극적으로 산림의 재방문율을 높일 수 있을 것이다.

한편, 본 연구에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째, 연구대상자의 특성이 20대 대학생으로 한정되어 있다. 향후 연구에서는 20대뿐만 아니라 다양한 연령을 대상으로 연구를 진행해야 할 것이다. 둘째, 두 연구대상지의 입상(활엽수림)과 사면 방향(서쪽)은 통일되었지만, 수종 및 경사 등에 차이가 있었다. 본 연구는 인간대상연구이기 때문에, 피험자의 접근성 및 안전성을 최우선으로 하여 학술림에서 연구를 진행하였으나 피험자가 머무는 공간 면적(400m²)에서 동일한 수종으로 이루어진 실험지 및 대조지를 찾는 것이 불가능하였다. 수종 및 지형 조건의 차이는 물리적 환경조건에 영향을 미치기 때문에 온열환경 쾌적성 및 생리·심리적 반응에 차이가 나타날 수 있다. 향후 이러한 부분에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

결론

본 연구는 여름철 활엽수림에서의 휴식이 온열환경 쾌적성 및 인체의 생리·심리적 반응에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

수관유효도가 높은 산림은 수관유효도가 낮은 산림과 비교하여 (1) PMV 및 PPD 값이 유의하게 낮았고, 연구대상자들의 (2) 심박수, 맥박수, 이완기혈압, 이마체온이 유의하게 낮았으며, 부교감신경활동이 유의하게 향상되었고, (3) 주관적인 온열감 및 쾌적감이 개선되었다.

결론적으로, 활엽수림은 여름철 온열 스트레스를 감소시키며, 인체를 생리·심리적으로 안정시킨다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) ‘산림과학기술 연구개발사업(2021386B10-2123-0101)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- An, S. Song, D. Joung, D. Park, B.J. Sim, K.W. and Park, J.H. 2022. A study on the thermal comfort and amenity management of Gyeryongsan National Park trail in summer. *Journal of National Park Research* 13(2): 31-39.
- Cacioppo, J.T., Berntson, G.G., Binkley, P.F., Quigley, K.S., Uchino, B.N. and Fieldstone, A. 1994. Autonomic cardiac control. II. Noninvasive indices and basal response as revealed by autonomic blockades. *Psychophysiology* 31(6): 586-598.
- Colter, KR., Middel, A.C. and Martin, C.A. 2019. Effects of natural and artificial shade on human thermal comfort in residential neighborhood parks of Phoenix, Arizona, USA. *Urban Forestry & Urban Greening* 44: 126429.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
- Gillerot, L. et al. 2022. Forest structure and composition alleviate human thermal stress. *Global Change Biology* 28(24): 7340-7352.
- Jeong, M.A. and Park, S. 2016. Analysis of human thermal responses in accordance with the green space types in the city of Seoul - focused on Dongdaemun-gu -. *The Journal of Korea Society for People Plants Environment* 19(4): 317-323.
- Joung, D. et al. 2013. Effect of thermal environment of forest and grass area on human physiological response. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 17(4): 143-148.
- Kanaya, N., Hirata, N., Kurosawa, S., Nakayama, M., and Namiki, A. 2003. Differential effects of propofol and sevoflurane on heart rate variability. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists* 98(1): 34-40.
- Kim, J. et al. 2023. Thermal comfort and human responses according to tree density in forest environments during and after physical activities in the summer. *Forests* 14(1): 120.
- Kim, J.S. 2004. Anesthesia and body temperature. *Korean Journal of Anesthesiology* 47(5): 609-616.
- Kim, S.J., Lee, Y.S., Park, H.I., Joung, D., and Park, B.J. 2019. The study on the thermal comfort in urban parks and forests. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 23(4): 41-52.
- Kobayashi, H., Ishibashi, K. and Noguchi, H. 1999. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Applied Human Science* 18(2): 53-59.

- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2022. Results for the yearly operation of the emergency room monitoring system for thermal diseases. <https://www.kdca.go.kr/contents.es?mid=a20308040106>. (2023.06.08).
- KATS (Korean Agency for Technology and Standards). 2010. 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 KS A ISO 7730:2010.
- KNPS (Korea National Park Service). 2022. 2022 National park leisure recreation survey. <https://www.knps.or.kr/front/portal/research/researchDtl.do?menuNo=8000625&refId=REFM000705>. (2023.05.12.).
- Lee, C. and Ryu, N., 2014. The Comparison of the Solar Radiation and the Mean Radiant Temperature (MRT) under the Shade of Landscaping Trees in Summertime. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(5): 22-30.
- Lim, E., Lee, W., Choi, C., Song, B. and Jung, S. 2013. An evaluation of thermal comfort on urban neighborhood park for improving thermal environment. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(4): 153-170.
- Park, B.J., Furuya, K., Kasetani, T., Takayama, N., Kagawa, T. and Miyazaki, Y. 2011. Relationship between psychological responses and physical environments in forest settings. *Landscape and Urban Planning* 102(1): 24-32.
- Park, B.J., Kyeon, C., Choi, Y., Yeom, D., Kim, G. and Jung, D., 2015. The effect of tree density of *Pinus koraiensis* forest on the thermal comfort and the physiological response of human body in summer season. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(2): 261-266.
- Schiller, G.E. 1990. A comparison of measured and predicted comfort in office buildings. *ASHRAE Transactions* 96(1): 609-622.
- Song, D. An, S. Joung, D. and Park, B.J. 2022. Study on the selection of optimal activity time for winter Seogwipo Healing Forest according to thermal comfort and NVOCs Emissions. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 26(4): 15-25.
- Song, M.R. and Lee, Y.S. 2011. Differences in blood pressure according to body position by age groups. *Journal of Korean Biological Nursing Science* 13(3): 238-244.
- Wang, Y., Ni, Z., Peng, Y. and Xia, B. 2018. Local variation of outdoor thermal comfort in different urban green spaces in Guangzhou, a subtropical city in South China. *Urban Forestry & Urban Greening* 32: 99-112.
- Yi, Y., Lee, I., Park, B.J., Song, C. and Yim, E. 2022. Relationship between tympanic membrane body temperature and skin body temperature during exercise according to tree density. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 26(2): 17-28.

Manuscript Received : September 30, 2023

First Revision : November 17, 2023

Second Revision : December 4, 2023

Accepted : December 15, 2023