

시간 변화에 따른 여름철 산림환경의 생리·심리적 안정 효과

송인준¹ · 김주현¹ · 김초윤¹ · 정다위² · 이윤정³ · 박범진^{4*} · 송초롱^{1*}

¹국립공주대학교 산림과학과, ²충남대학교 농업과학연구소,
³경인여자대학교 간호학과, ⁴충남대학교 산림환경자원학과

Temporal Changes in the Physiological and Psychological Relaxation Effects of a Forest Environment during the Summer

Injoon Song¹, Juhyeon Kim¹, Choyun Kim¹, Dawou Joung², Yunjeong Yi³,
Bum-Jin Park^{4*} and Chorong Song^{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: 본 연구는 시간에 따른 산림환경의 물리환경요소 변화와 이에 따른 온열환경 쾌적성, 인체의 생리·심리적 반응의 차이를 종합적으로 규명하기 위하여 수행되었다. 9시부터 18시까지 산림환경의 물리환경요소(공기온도, 평균복사온도, 풍속, 상대습도)와 예상평균한서감지수(PMV), 예상불만족률(PPD)를 연속 측정하고, 1시간 간격으로 남자 대학생 30명(평균 연령: 21.7±1.9세)이 눈을 감고 5분 동안 안정을 취할 때의 생리·심리적 반응(심박변이도, 심박수, 구강체온, 혈압, 맥박수, 주관적 온열감과 쾌적감 및 인상)을 조사하였다. 더불어 물리환경요소와 생리적 반응 사이의 상관관계를 조사하였다. 그 결과, ① 공기온도, 평균복사온도, 풍속, 상대습도 모두 시간에 따라 유의하게 변화하였다. ② PMV와 PPD도 시간에 따라 유의하게 변화하였다. 주관적 온열감은 PMV와 일치하였으나, 주관적 쾌적감은 PPD와 일치하지 않았다. ③ 생리적 반응 중 ln(HF), ln(LF/HF), 심박수, 이완기혈압이 시간에 따라 유의하게 변화하였다. 공기온도가 가장 높았던 14~16시에 ln(HF)는 가장 낮았고, ln(LF/HF)는 가장 높았다. ④ 공기온도, 평균복사온도, 풍속은 ln(HF)와 음의 상관관계, ln(LF/HF)와 양의 상관관계를 나타내었다. 이를 통해 산림환경을 이용하는 시간대에 따라 이용객의 쾌적감과 생리·심리적 안정 효과가 달라질 수 있으며, 시간에 따른 산림환경의 물리환경요소 변화가 이러한 차이에 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌다.

Abstract: This study investigated temporal changes in forest physical variables and their effects on thermal comfort and physiological and psychological responses. Environmental factors (air temperature, mean radiant temperature, wind speed, and relative humidity), the predicted mean vote (PMV), and the predicted percentage of dissatisfied (PPD) visitors were continuously measured between 9:00 AM and 6:00 PM. We assessed the physiological and psychological responses (heart rate variability, heart rate, oral temperature, blood pressure, pulse rate, thermal sensation vote, comfort sensation vote, and subjective feelings) of 30 male university students (average age: 21.7±1.9 years), who closed their eyes and relaxed for 5 minutes every hour. Examination of correlations between environmental factors and physiological responses showed that ① the mean radiant temperature, wind speed, and relative humidity significantly changed with time; ② PMV and PPD also showed significant changes over time, and the thermal sensation vote corresponded with PMV; however, the comfort sensation vote did not correspond with PPD; ③ Among the physiological responses, parasympathetic nerve activity, sympathetic nerve activity, heart rate, and diastolic blood pressure significantly varied with time, with parasympathetic nerve activity having the lowest value and sympathetic nerve activity the highest at the highest air temperature (2:00-4:00 PM); and ④ Air temperature, mean radiant temperature, and wind speed showed a negative correlation with parasympathetic nerve activity and a positive correlation with sympathetic nerve activity. These findings indicate that the relaxation effects of the forest environment depend on what time of day people are exposed to it, and the changes occurring in forest environmental factors over time modulate these effects.


Key words: air temperature, thermal comfort, heart rate variability, body temperature, thermal sensation

* Corresponding author

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

ORCID

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

Chorong Song  <https://orcid.org/0000-0002-1924-1053>

서 론

연평균 기온이 계속해서 증가하고 있다. 2022년 기준 세계 평균 기온은 산업화 이전보다 1°C 이상 증가하였으며 (World Meteorological Association, 2022), 평균적으로 연간 0.08°C씩 증가하는 것으로 나타났다(Lindsey and Dahlman, 2020). 특히 우리나라의 경우 이러한 양상이 더욱 뚜렷하게 나타난다. 연평균 기온은 1908년 10.4°C에서 2022년 13.2°C로 2.8°C 상승하였으며(Korea Meteorological Administration, 2023), 최근에는 여름철 최고기온이 40°C에 육박하고(Shim et al., 2019) 연일 폭염이 계속되는 등 무더운 날씨가 이어지고 있다(World Meteorological Association, 2022).

이러한 여름철 무더위에도 불구하고, 많은 사람이 휴양 및 휴식을 위해 산을 찾고 있다(장윤선 등, 2020). 실제 2022년 한 해 동안 약 1,900만명이 자연휴양림에 방문한 것으로 집계되었으며(Korea Forest Service, 2023), 여름철에도 많은 이들이 산을 방문하는 것으로 나타났다(Korea National Park Service, 2023) 그러나, 활동 공간이 개방된 실외이므로 온열질환에 노출되기 때문에(Park et al., 2022), 공간의 특성상 온열질환으로 야기되는 어지러움, 두통 등에 적절히 대처하기가 어려울 것으로 생각된다.

따라서 사람들이 안전하고 쾌적하게 산림공간을 이용할 수 있도록, 최적의 산림환경 이용조건을 탐색하는 것이 매우 중요하다. 관련 연구를 살펴보면, 숲의 공간구조에 따른 열적 쾌적성의 차이를 밝히거나(Lin et al., 2021), 운동 시 산림환경의 입목밀도에 따른 인체의 생리적 반응 차이를 규명하는(Kim et al., 2023) 등 공간적인 측면에서의 연구는 활발히 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 시간적인 측면에서의 연구는 부족한 실정에 있다. 산림환경의 경우 다른 환경에 비해 하루 동안의 기온 변화가 크기 때문에(Kim et al., 2013; 2014), 시간의 흐름에 따른 물리환경요소의 변화와 이에 따른 열적 쾌적성 및 인체 반응의 차이를 조사하는 것이 더욱 중요할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구진이 조사한 바로는 이러한 연구가 존재하지 않는 것으로 파악되었다.

본 연구는 시간의 흐름에 따른 산림환경의 물리환경요소 변화와 이에 따른 온열환경 쾌적성, 주관적 온열감과 쾌적감, 인체의 생리·심리적 반응의 차이를 종합적으로 규명하고 그 관계를 조사함으로써, 안전하고 쾌적한 산림환경 이용조건을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구의 가설은 다음과 같다. 첫째, 시간의 흐름에 따라 산림환경의 물리환경요소가 변화할 것이다. 둘째, 이에 따라 온열환경 쾌적성, 주관적 온열감과 쾌적감, 인체의

생리·심리적 반응이 달라질 것이다. 셋째, 물리환경요소와 인체의 생리적 반응 사이에 상관관계가 있을 것이다.

재료 및 방법

본 연구는 K 대학교 기관생명윤리위원회의 연구심의를 받아 안전하게 진행되었다(KNU_IRB_2022-67).

1. 연구대상자

연구대상자는 만 18세 이상의 성인 남성으로 하였다. 이중 의사소통이 불가능한 자, 병원에서 치료받는 자, 심장 질환 병력이 있는 자, 뇌혈관질환 병력이 있는 자, 고혈압이 있는 자는 제외하였다.

교내 게시판과 대학생 온라인 커뮤니티에 공고문을 게시하여 연구대상자를 모집하였다. 연구 참여를 희망하는 자 중에서 선정 기준에 부합하는 자를 선별하여, 최종적으로 33명의 건강한 남자 대학생(21.7±1.9세, 평균±표준편차)을 연구대상자로 선정하였다.

실험 시작 전 모든 연구대상자에게 연구에 관한 충분한 정보를 제공하였으며, 실험 종료 후 7시간 동안의 참여에 대한 사례금을 지급하였다.

2. 실험

실험 기간은 2022년 8월 31일부터 9월 3일까지로, 4일간의 평균 기온은 23.0°C, 평균 습도는 81.2%, 평균 풍속은 2.5 m/s였다(Korea Meteorological Administration, 2022). 실험대상지는 연구대상자의 접근성과 안전성을 고려하여 K 대학교 학술림 내 산림공간(동경 126°51'59.45", 북위 36°40'00.37")으로 하였다. 실험대상지의 입지환경은 해발고도 130 m, 방위 298°, 경사 10°, 낙엽층 깊이 3 cm였다.

실험대상지 내 연구대상자의 착석 위치를 중심으로 원형 방형구(반경 11.3 m, 면적 400 m²)를 설정한 뒤 매목조사를 실시한 결과, 흉고직경이 6 cm 이상인 입목은 총 20개체가 존재하였으며, 교목층과 아교목층은 밤나무, 관목층은 개암나무, 초본층은 개고사리가 우점하는 것으로 나타났다(Figure 1). 또한, 실험대상지의 수관율폐도는 58.85%로 나타났다.

Figure 2에 실험 과정을 나타내었다. 실험 장소에 도착한 연구대상자는 연구에 대한 설명을 듣고, 실험에 자발적으로 참여하였다는 내용의 동의서에 서명하였다. 이후 생리적 반응 측정기기를 착용한 뒤 다음의 단계를 따랐다: (1) 실험대상지로 이동한 뒤, 이동으로 인한 영향을 배제하기 위하여 의자에 앉아 5분 동안 휴식을 취한다(Figure 3); (2) 시청각 자극을 배제하기 위하여 이어플러그를 착용

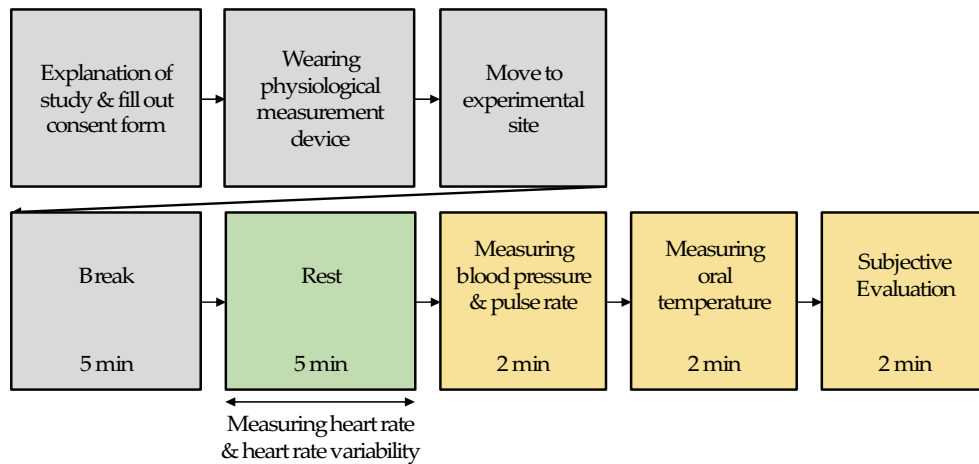


Figure 1. Experimental process.

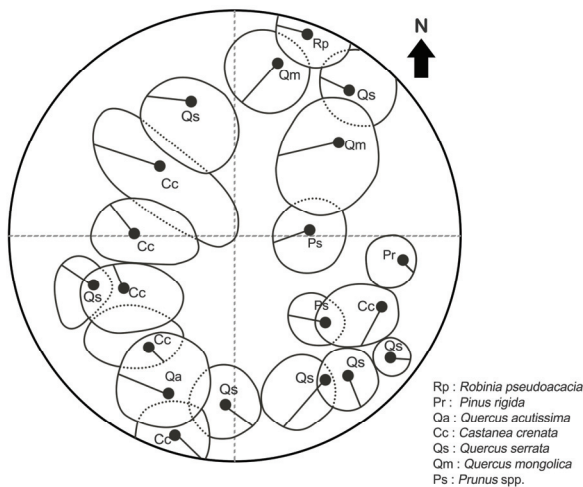


Figure 2. Tree canopy projection for experimental site.



Figure 3. Experimental scenery.

한 뒤 눈을 감고 5분 동안 안정을 취한다(이때의 심박수와 심박변이도를 측정한다.); (3) 눈을 뜨고 혈압을 측정한다; (4) 체온을 측정한다; (5) 주관평가 설문지를 작성한다.

위 과정을 9시부터 18시까지, 점심시간인 12~14시를 제외하고 1시간 간격으로 총 7번(9~10시, 10~11시, 11~12시, 14~15시, 15~16시, 16~17시, 17~18시) 반복하였다. 이러한 피험자 내 비교 디자인을 사용하였기 때문에, 산림환경의 장기간 체류로 인한 누적 영향을 배제하기 위하여 실험 기간 중 절반은 오전과 오후를 교차하여 진행하였다.

3. 측정지표

1) 물리환경 관련 측정지표

(1) 물리환경요소

물리환경요소로 ‘공기온도’, ‘평균복사온도’, ‘풍속’, ‘상대습도’를 사용하였다. 휴대용 기상환경계측기(Kestrel 5400,

Nielsen Kellerman Corporation, USA)를 통해 실험이 진행되는 9시부터 18시까지의 데이터를 1분 간격으로 연속 측정하였다.

(2) 온열환경 쾌적성 및 주관적 온열감과 쾌적감

온열환경 쾌적성 평가지표로 ‘예상평균한서감지수(predictive mean vote; PMV)’와 ‘예상불만족률(predicted percentage of dissatisfied; PPD)’을 사용하였다. PMV는 사람들이 느낄 한서감을 예측하는 지수로(ISO7730, 2010), 공기온도, 복사온도, 풍속, 상대습도, 착의량, 대사량의 여섯 가지 인자를 바탕으로 산출한다. 본 연구에서는 착의량으로 여름철 적정 수치인 1.0 clo, 대사율로 앉아서 휴식 시의 수치인 1.0 met를 사용하였다(ISO7730, 2010). PPD는 열적 환경을 불만족스럽게 느낄 사람들의 비율을 예측하는 지수로(ISO7730, 2010), PMV를 바탕으로 산출한다.

주관적 온열쾌적감 설문지(Schiller, 1990)는 연구대상자가 실제로 느낀 온열감과 쾌적감을 주관적으로 평가할 수 있는 검사 도구이다. 설문지는 ‘주관적 온열감(thermal

sensation vote; TSV)’을 “추움(-3)” - “더움(+3)”의 7점 척도로, ‘주관적 쾌적감(comfort sensation vote; CSV)’을 “매우 불쾌적함(-3)” - “쾌적함(0)”의 4점 척도로 평가하도록 구성되어 있다.

온열환경 쾌적성은 물리환경요소, 착의량, 대사량을 바탕으로 예측하고, 주관적 온열감과 쾌적감은 연구대상자가 실제로 느낀 정도를 표현한다는 점에서 차이가 있다.

2) 생리적 반응 측정지표

(1) 심박변이도와 심박수

심박변이도는 심장 박동의 R파와 R파 사이 간격 변화(R-R Interval; RRI)를 이용하여 자율신경계 반응을 분석하는 방법이다(Kobayashi et al., 1999). RRI 측정 이후 주파수 분석을 진행하는데, 분석된 주파수 중 0.04-0.15Hz 영역의 주파수를 Low Frequency (LF)로, 0.15-0.40Hz 영역의 주파수를 High Frequency (HF)로 한다(Kim et al., 2005). HF는 부교감신경계 활동지표로 사용되며, 개인 안에서 값의 증가는 생리적 안정 혹은 휴식 상태를 의미한다(Cacioppo et al., 1994). LF/HF는 교감신경계 활동지표로 사용되며, 개인 안에서 값의 증가는 생리적 각성 혹은 스트레스 상태를 의미한다(Terathongkum and Pickler, 2004). 심박변이도는 개인에 따라 절댓값의 편차가 크기 때문에, 이를 보완하고자 자연로그로 변환한 HF, LF/HF를 사용하였다(Kobayashi et al., 2012). 심박수는 단위 시간당 심장 박동의 횟수를 의미한다.

본 연구에서는 myBeat WHS-1 (Union Tool Co., Japan)을 통해 심박수와 RRI를 측정하였으며, MemCalc/win (GMS, Japan)을 사용하여 주파수 분석을 진행하였다.

(2) 구강체온

구강체온 측정을 위해 디지털 체온계(MT200, Microlife, NeiHu Taipei, Taiwan)를 사용하였다. 혀 밑에 체온계의 측정부분을 넣고 입을 다문 뒤 약 10초 동안 측정하였다.

(3) 혈압과 맥박수

혈압은 혈관을 따라 흐르는 혈액이 혈관벽에 가하는 압력을 말한다. 심장 박동에 따라 수축기혈압(최고혈압)과 이완기혈압(최저혈압)을 넘나들며 변하는데, 이때 단위 시간당 동맥의 수축-이완 횟수를 맥박수라고 한다(Kim, 2010). 본 연구에서는 상향 가압방식의 혈압계(P2100 model, Terumo, Japan)를 사용하여 연구대상자의 오른쪽 상완에서 혈압과 맥박수를 1회 측정하였다.

3) 심리적 반응 측정지표

(1) 주관적 인상

감성을 표현하는 양극단의 형용사를 통해 특정 대상에 관한 개인의 인상을 주관적으로 평가하는 방법을 의미분별법(Osgood, 1957)이라고 한다. 본 연구에서는 ‘따뜻한 ↔ 차가운’, ‘생명력 있는 ↔ 생명력 없는’, ‘촉촉한 ↔ 마른’, ‘밝은 ↔ 어두운’, ‘가벼운 ↔ 무거운’, ‘좋아하는 ↔ 싫어하는’, ‘활기있는 ↔ 활기없는’, ‘동적인 ↔ 정적인’, ‘진정되는 ↔ 진정되지 않는’, ‘상쾌한 ↔ 상쾌하지 않은’, ‘다채로운 ↔ 퇴색한’, ‘풍부한 ↔ 빈약한’, ‘평화로운 ↔ 혼란스러운’의 13가지 형용사 쌍을 사용하여, 연구대상자가 주관적 인상을 7점 척도로 평가하도록 하였다.

4. 통계분석

연구대상자 33명 중 4명이 결석 또는 중도 탈락하였다. 남은 29명 중 데이터 측정 및 분석 과정에서의 오류로 4명의 심박수 및 심박변이도 데이터를 제외하였다. 통계분석 프로그램으로 statistical package for social sciences (SPSS) 27.0을 사용하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

모든 측정지표에 대하여, 통계분석은 (1) 시간의 흐름에 따른 변화에 대해 유의성을 검증하고, (2) 평균 기온이 가장 높았던 14~15시를 기준으로 다른 시간대와의 차이를 검증하는 두 가지 관점에서 진행하였다. 데이터가 독립적이며 정규성을 띠는 ‘물리환경요소’와 ‘온열환경 쾌적성’은 각각 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과 본페로니 검정(Bonferroni correction), 데이터가 대응하며 정규성을 띠지 않는 ‘주관적 온열감’, ‘주관적 쾌적감’, ‘주관적 인상’은 프리드만 검정(Friedman test)의 주효과(main effect)와 사후분석(post-hoc analysis), 데이터가 대응하며 정규성을 띠는 생리적 반응은 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)과 대응표본 t검정(paired t-test) + 호른 보정(Holm correction)을 사용하였다.

추가적으로, 물리환경요소와 생리적 반응 사이의 상관관계를 조사하기 위하여 피어슨 상관분석(Pearson correlation)을 사용하였다.

결 과

1. 물리환경 관련 측정지표

1) 물리환경요소

Figure 4에 물리환경요소 분석 결과를 나타내었다.

공기온도는 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났다($p < 0.05$, Figure 4(a)). 9~10시에 $21.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$ (평균 \pm 표준편차)로 가장 낮았고, 이후 점차 증가하여 14~15시에 $25.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 최고치를 기록한 뒤 다시 감소하

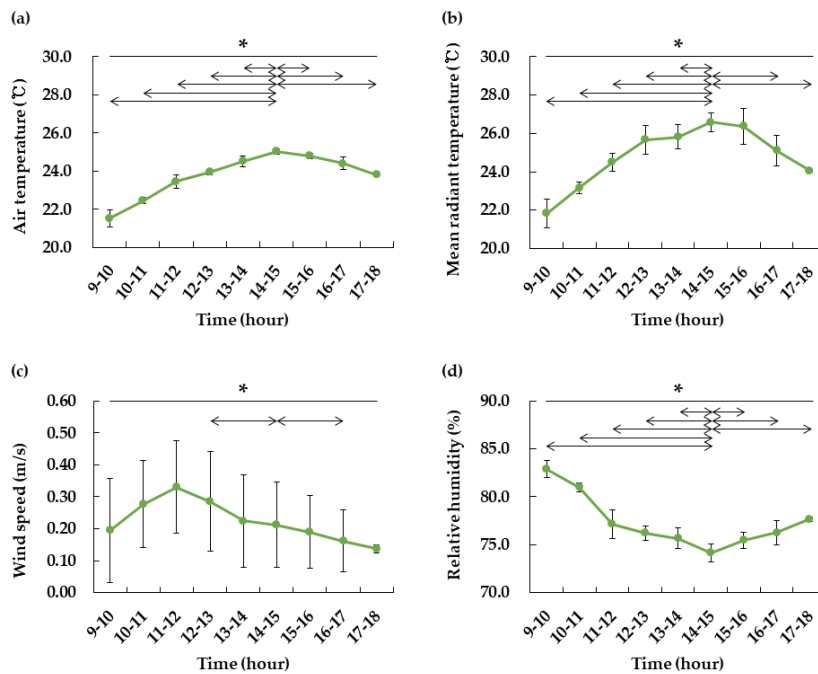


Figure 4. Results of environmental factors analysis.

(a) Air temperature, (b) Mean radiant temperature, (c) Wind speed, (d) Relative humidity. Mean \pm standard deviation, * $p < 0.05$ by one-way ANOVA, \leftrightarrow $p < 0.05$ by Bonferroni correction.

였다. 평균복사온도는 공기온도와 유사한 양상을 띠었다 [$p < 0.05$, Figure 4(b)]. 풍속은 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하였고 [$p < 0.05$, Figure 4(c)], 상대습도는 공기온도와 반대의 양상을 띠었다. 9~10시에 $82.9 \pm 0.9\%$ 로 가장 높았고, 이후 점차 감소하여 14~15시에 $74.1 \pm 1.0\%$ 로 최저치를 기록한 뒤 다시 증가하였다 [$p < 0.05$, Figure 4(d)].

2) 온열환경 쾌적성 및 주관적 온열감과 쾌적감

Figure 5에 온열환경 쾌적성 및 주관적 온열감과 쾌적감 분석 결과를 나타내었다.

예상평균한서감지수(PMV)와 예상불만족률(PPD) 모두 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났다. PMV는 9~10시에 -1.76 ± 0.20 으로 사람들이 ‘서늘하다’라고 느낄 것으로 예측되었고, 이후 점차 증가하여 14~15시에 -0.26 ± 0.15 로 중립에 가장 가까워졌으며, 다시 감소하여 17~18시에는 -0.78 ± 0.02 로 사람들이 ‘약간 서늘하다’라고 느낄 것으로 예측되었다 [$p < 0.05$, Figure 5(a)]. PPD는 9~10시에 $63.17 \pm 9.19\%$ 로 가장 높았다가, 이후 점차 감소하여 14~15시에 $18.96 \pm 2.58\%$ 로 중립에 가장 가까워졌으며, 다시 증가하여 17~18시에는 $27.93 \pm 0.59\%$ 를 기록하였다 [$p < 0.05$, Figure 5(b)].

주관적 온열감은 PMV 분석 결과와 유사하였다 [$p < 0.05$, Figure 5(c)]. 그러나, 주관적 쾌적감은 PPD 분석 결과와

달리 시간과 관계없이 모두 쾌적하다고 평가되었으며, 유의한 변화와 차이가 모두 나타나지 않았다 [Figure 5(d)].

2. 생리적 반응 측정지표

Figure 6에 생리적 반응 측정지표 분석 결과를 나타내었다.

심박변이도는 부교감신경계 활동지표인 $\ln(HF)$ 와 교감신경계 활동지표인 $\ln(LF/HF)$ 모두 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났다. $\ln(HF)$ 의 경우 오전 시간대(9~12시)의 측정값은 $6.2 \pm 1.3 \ln \text{ms}^2$ (평균 \pm 표준오차)로 비교적 높았다가, 오후 시간대로 넘어가며 낮아져 14~16시에 $5.4 \pm 1.1 \ln \text{ms}^2$ 를 기록한 뒤 다시 증가하였다 [$p < 0.05$, Figure 6(a)]. $\ln(LF/HF)$ 는 $\ln(HF)$ 와 반대의 양상을 띠었다 [$p < 0.05$, Figure 6(b)].

심박수 역시 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하였는데, 오전 시간대에 $64.3 \pm 6.1 \text{bpm}$ 으로 비교적 낮았다가, 오후 시간대로 넘어가며 높아져 14~15시에 $79.6 \pm 2.1 \text{bpm}$ 으로 최고치를 기록한 뒤 다시 감소하였다 [$p < 0.05$, Figure 6(c)]. 구강체온의 경우 유의성은 없었으나 변화 양상이 심박수와 일치하였다 [Figure 6(d)].

수축기혈압은 유의한 변화를 나타내지 않았다 [Figure 6(e)]. 이완기혈압은 시간에 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났으며, 오전 시간대에 $72.1 \pm 1.5 \text{mmHg}$ 로 비교적 높았다가, 오후 시간대로 넘어가며 낮아져 14~15시에

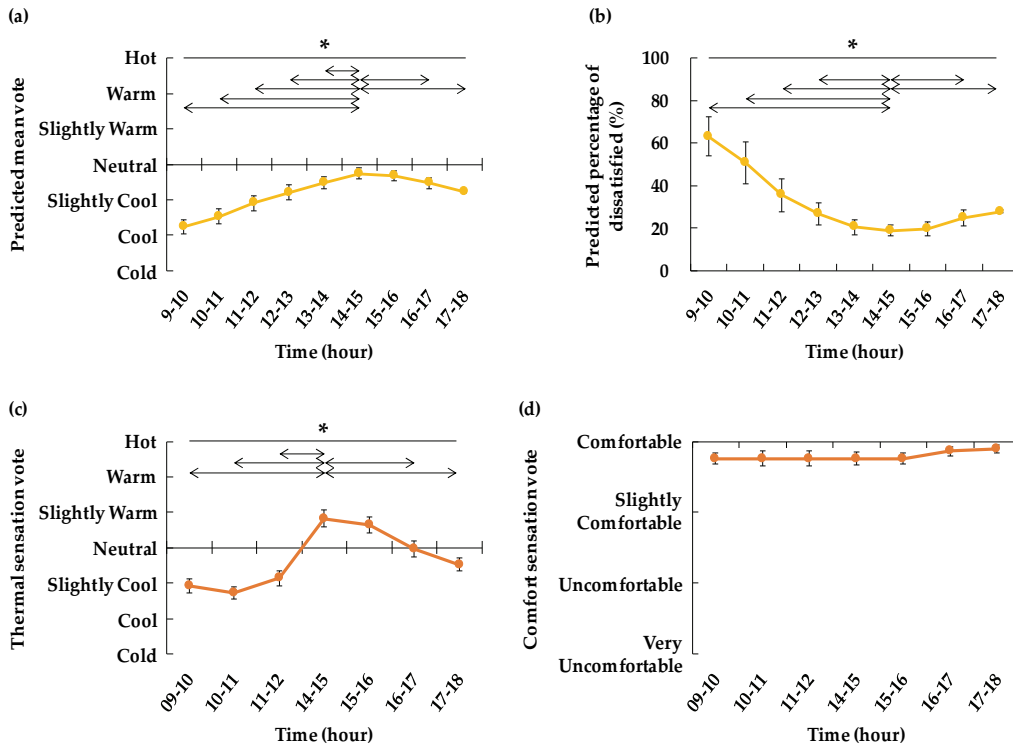


Figure 5. Results of thermal comfort and thermal and comfort sensation vote.

(a) Predicted mean vote (PMV), (b) Predicted percentage of dissatisfied (PPD). Mean \pm standard deviation, * $p < 0.05$ by one-way ANOVA, $\leftrightarrow p < 0.05$ by Bonferroni correction. (c) Thermal sensation vote (TSV), (d) Comfort sensation vote (CSV). N = 29, mean \pm standard error * $p < 0.05$ by Friedman test (main effect), $\leftrightarrow p < 0.05$ by Friedman test (post-hoc analysis).

58.9 \pm 1.6mmHg로 최저치를 기록한 뒤 다시 증가하였다 [$p < 0.05$, Figure 6(f)]. 맥박수 역시 시간에 따라 유의하게 변화하였는데, 오전 시간대에 64.9 \pm 1.6bpm으로 비교적 낮았다가, 14~15시에 79.2 \pm 2.2bpm으로 최고치를 기록한 뒤 점차 감소하였다($p < 0.05$).

3. 심리적 반응 측정지표

Figure 7에 주관적 인상 분석 결과를 나타내었다.

총 13가지 형용사 쌍 중 ‘따뜻한 \leftrightarrow 차가운[Figure 7(a)]’, ‘생명력 있는 \leftrightarrow 생명력 없는[Figure 7(b)]’, ‘촉촉한 \leftrightarrow 마른[Figure 7(c)]’, ‘밝은 \leftrightarrow 어두운[Figure 7(d)]’, ‘가벼운 \leftrightarrow 무거운[Figure 7(e)]’에서 시간의 흐름에 따른 변화의 유의성($p < 0.05$)을 확인할 수 있었다. 14~15시 시간대가 다른 시간대에 비하여 가장 따뜻하고, 생명력 있으며, 밝은 것으로 나타났다.

4. 물리환경요소와 생리적 반응 사이의 상관관계

Table 1에 물리환경요소와 생리적 반응 사이의 상관관계 분석 결과를 나타내었다.

공기온도가 증가할수록 ln(HF)값과 이완기혈압이 감소

($p < 0.01$)하였으며, ln(LF/HF)값, 심박수, 구강체온, 맥박수는 증가($p < 0.01$)하였다. 특히 심박수, 이완기혈압, 맥박수에서 상대적으로 강한 상관관계가 나타났다. 평균복사온도는 공기온도와 유사한 양상을 띠었으며, 특히 심박수와 맥박수에서 상대적으로 강한 상관관계가 나타났다. 또한, 풍속이 강할수록 ln(HF)값과 수축기혈압이 감소($p < 0.01$)하였고, ln(LF/HF)값은 증가($p < 0.01$)하였으며, 상대습도가 높아질수록 심박수와 맥박수는 감소($p < 0.05$)하였으며, 이완기혈압은 증가($p < 0.05$)하였다.

고찰

본 연구는 시간의 흐름에 따른 산림환경의 물리환경요소 변화와 이에 따른 온열환경 쾌적성, 주관적 온열감과 쾌적감, 인체의 생리·심리적 반응의 차이를 종합적으로 규명하고 그 관계를 조사함으로써, 안전하고 쾌적한 산림환경 이용조건을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 9시부터 18시까지 산림환경의 물리환경요소(공기온도, 평균복사온도, 풍속, 상대습도) 변화와 이에 따른 온열환경 쾌적성, 주관적 온열감과 쾌적감, 인체의 생리·심리적 반

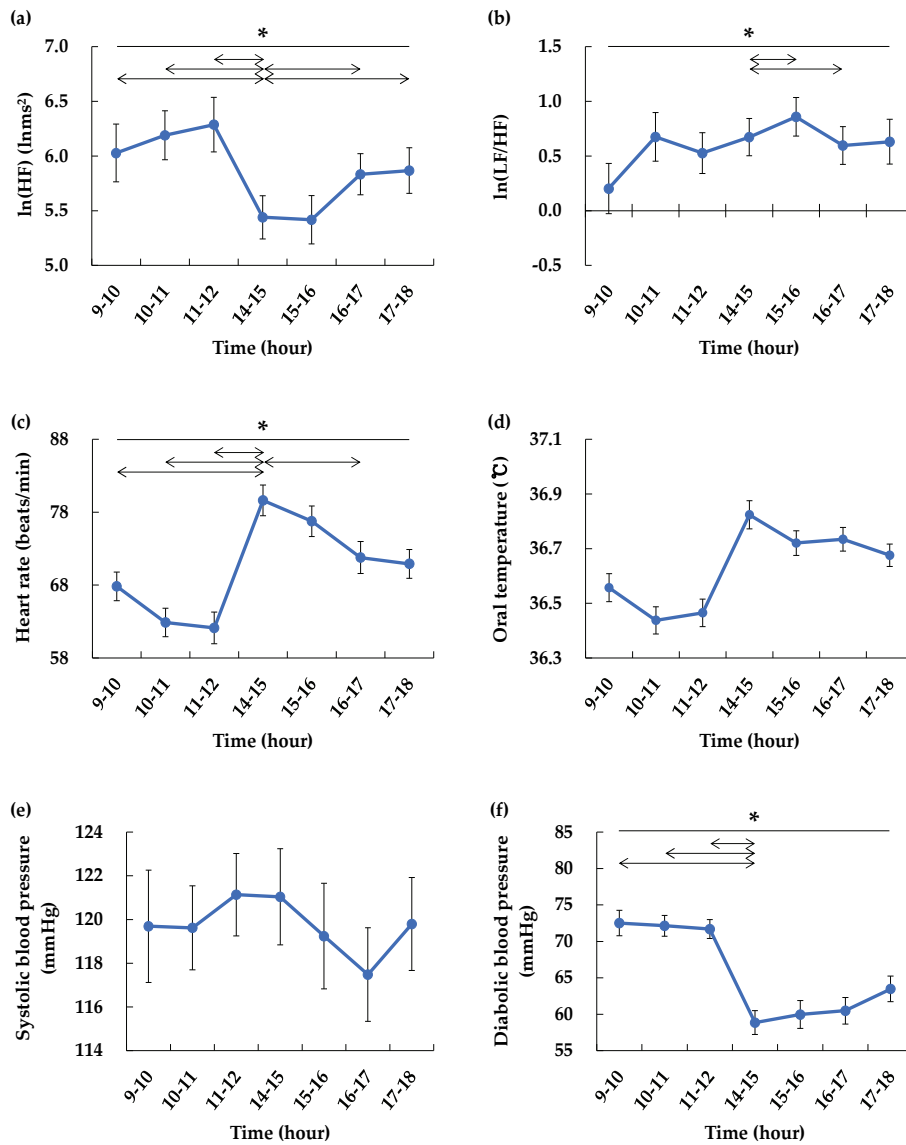


Figure 6. Results of physiological responses analysis.

(a) ln(HF), (b) ln(LF/HF), (c) Heart rate. N = 25, mean ± standard error, * $p < 0.05$ by repeated measures ANOVA, ↔ $p < 0.05$ by paired t-test and Holm correction. (d) Oral temperature, (e) Systolic blood pressure, (f) Diabolic blood pressure. N = 29, mean ± standard error, * $p < 0.05$ by repeated measures ANOVA, ↔ $p < 0.05$ by paired t-test and Holm correction.

응의 차이, 그리고 물리환경요소와 생리적 반응 사이의 상관관계를 확인하였다.

그 결과, 물리환경요소는 공기온도, 평균복사온도, 풍속, 상대습도 모두 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났다. 그중 공기온도는 9시 이후 점차 증가하여 14~15시에 최고를 기록한 뒤 점차 감소하는 양상을, 상대습도는 9시 이후 점차 감소하여 14~15시에 최저를 기록한 뒤 점차 증가하는 양상을 띠었다. 이는 겨울철과 봄철 소나무숲의 물리환경요소 변화를 조사한 Kim et al.(2013, 2014)의 연구결과와 부분적으로 일치하였다. 해당 선행연구에서

소나무숲의 일중 기온은 측정 시작 시점인 8시부터 점차 증가하여 겨울철에는 12시, 봄철에는 14시에 최고를 기록한 뒤 점차 감소하는 양상을, 상대습도는 8시부터 점차 감소하여 겨울철에는 11시, 봄철에는 14시에 최저를 기록한 뒤 점차 증가하는 양상을 띠었다. 각 물리환경요소가 최고·최저를 기록한 시간대는 다르지만, 전체적인 변화 양상에서 유사한 양상을 확인할 수 있었다. 무더운 여름에는 하루 중 기온이 최고, 습도가 최저를 기록하는 14시경에는 방문을 피하는 등, 물리환경요소에 따라 적절한 시간대에 산림환경을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

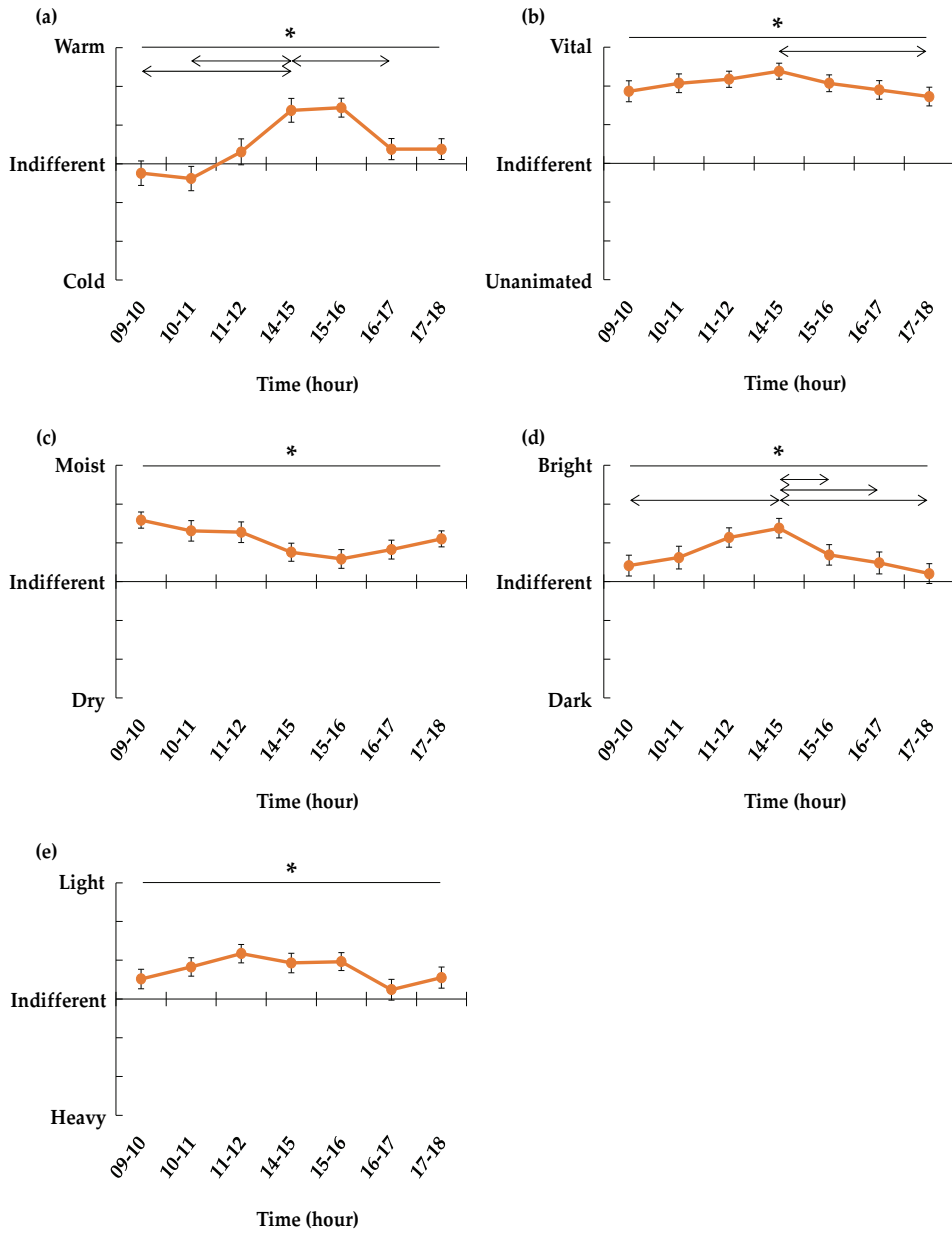


Figure 7. Results of subjective feelings.

(a) warm, (b) vital, (c) moist, (d) bright, (e) light feelings. N = 29, mean ± standard error * $p < 0.05$ by Friedman test (main effect), ↔ $p < 0.05$ by Friedman test (post-hoc analysis).

온열환경 쾌적성은 예상평균한서감(PMV)와 예상불만족률(PPD) 모두 시간의 흐름에 따라 유의하게 변화하는 것으로 나타났다. 특히 PMV의 경우 변화 양상이 공기온도 및 평균복사온도와 매우 유사하였는데, 이는 실내환경에서는 공기온도(Moon et al., 2007), 실외환경에서는 평균복사온도(Lim et al., 2013)가 PMV 결정에 가장 큰 영향을 미친다는 선행연구 결과와 일치하였다. 향후 산림 내 휴식 공간에 차양시설을 도입하거나, 이용객의 이동 경로 근처의 수관을 제거를 높여 일사를 차단하는 등 공기온도, 평균

복사온도와 같은 열쾌적성의 핵심 요소를 관리하기 위한 방안이 적극적으로 도입되어야 할 것이다. 또한, 개인이 열적으로 쾌적한 상태에서 산림을 이용할 수 있도록 환경 조건에 따른 적정 차의량을 규격화하고 관련 정보를 제공하는 등의 시도가 활발하게 이루어져야 할 것이다.

온열환경 쾌적성과 주관적 온열감, 쾌적감을 함께 살펴 보면, ‘열에 대한 느낌’을 나타내는 PMV와 주관적 온열감(TSV), ‘쾌적한 느낌’을 나타내는 PPD와 주관적 쾌적감(CSV)가 서로 일치할 것으로 예상하였으나 실제로는 그

렇지 않았다. PMV와 PPD는 실험 기간 오전 시간대의 환경조건에서 사람들이 춥고 불만족할 것으로 예측하였지만, 실제 연구대상자가 느낀 온열감은 ‘서늘한’ 정도에서 그쳤으며, 쾌적감은 ‘쾌적한’을 의미하는 0에 가까운 상태를 유지하였다. 이는 PMV와 PPD는 예측값이고, 주관적 온열감과 쾌적감은 실측값이기 때문에 이로 인한 차이가 반영된 결과로 생각된다. 또한, 연구대상자의 생리적 반응은 예측값인 PMV·PPD와는 일치하지 않았고, 실측값 중 TSV와는 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 PMV·PPD보다 TSV가 인체의 생리적 반응과 더욱 밀접한 관계를 가진다는 것을 의미하며, PMV·PPD의 정확도가 상대적으로 낮다고 해석할 수 있다. 따라서 산림환경의 온열환경 쾌적성을 평가하기 위해서는 실내환경 측정에 적합한 PMV·PPD 대신 다른 지표의 적용이 필요할 것으로 생각된다. 최근 실외환경 측정을 위해 개발된 COMFA(comfort formula), SET(standard new effective temperature), WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature) 등을 산림환경에 적용했을 때의 유효성과 적합성을 검토할 필요가 있다.

생리적 반응의 경우 부교감신경계 활동지표($\ln(HF)$)·교감신경계 활동지표($\ln(LF/HF)$)·심박수·이완기혈압·맥박수가 시간의 흐름에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 그중 인체의 스트레스 상태를 대변하는 심박변이도의 경우, 공기온도가 가장 높았던 14~16시에 $\ln(HF)$ 가 가장 낮았고, $\ln(LF/HF)$ 는 가장 높았다. 이는 환경의 열적 쾌적함에 따른 생리적 반응의 차이를 조사한 Lee et al.(2013)의 연구결과와 일치하였다. Lee et al.(2013)은 예상평균한서감(PMV)을 기준으로 실내 온열환경의 쾌적/불쾌 조건을 구분하고, 각 조건에서의 심박수와 호흡수, 부교감신경계 활동을 반영하는 호흡성동성부정맥(respiratory sinus arrhythmia; RSA)의 차이를 조사하였다. 그 결과, 쾌적 조건보다 불쾌 조건에서 심박수와 호흡수는 높았고, RSA는 낮았다. 일반적으로 심박수와 호흡수가 증가하면 신체적 각성 상태(McManis et al., 2001; Blosch et al., 1991), 부교감신경계 활동이 증가하면 생리적 안정 혹은 휴식 상태(Cacioppo et al., 1994)라고 알려져 있다. 즉 열적으로 불쾌한 조건에서 신체는 이완보다 각성 상태에 가까워진다는 사실을 알 수 있다.

상관관계 분석 결과, 산림환경의 물리환경요소와 인체의 생리적 반응 사이에 유의한 상관관계를 다수 확인할 수 있었다. 특히 공기온도, 평균복사온도, 풍속은 인체의 이완 및 안정상태를 반영하는 $\ln(HF)$, 인체의 각성 및 스트레스 상태를 반영하는 $\ln(LF/HF)$ 와 유의한 상관관계를 나타내었다. 이를 시간의 흐름에 따라 산림환경의 물리환경요소와 인체의 생리적 반응이 변화하였다는 본 연구의 결

과와 연계하면, 시간에 따라 나타나는 물리환경요소의 차이가 인체의 생리적 반응 차이에 강한 영향을 미쳤다고 해석할 수 있다(Joung et al., 2013; Park et al., 2015). 따라서, 안전하고 쾌적한 산림환경 이용조건을 결정하기 위해서는 단순히 시간의 개념보다는 물리환경요소의 변화라는 측면에서 접근할 필요가 있다. 향후 연구에서는 다양한 장소에서 공기온도, 평균복사온도, 풍속, 상대습도를 비롯한 물리환경조건을 실시간으로 측정하고, 이를 통해 수집된 데이터를 바탕으로 이용객이 쾌적감을 느낄 확률을 정밀하게 예측할 수 있는 알고리즘의 개발 등이 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 시간에 따른 산림환경의 물리환경요소 및 실제 방문객의 생리·심리적 반응의 변화와 차이를 종합적으로 규명하고 그 관계를 조사하였다는 점에서 의의를 지니나, 다음과 같은 한계가 존재한다. 첫째, 하나의 측정에서만 실험을 진행했기 때문에 연구결과를 일반화하기 어렵다. 둘째, 연구대상자가 숲의 야외환경에서 장기간 체류해야 하는 연구의 특성상, 한여름에 실험을 진행할 경우 온열질환 발생이 우려되었다. 따라서 8월 중순에 실험을 진행하고자 하였으나, 여름방학과 장마로 인한 연구대상자 모집 및 실험 진행의 어려움으로 실험이 지연되었다. 다만 실험 기간의 평균 기온은 23.0°C로, 2022년 여름철 평균 기온인 24.9°C와 크게 다르지 않았다(Korea Meteorological Administration, 2022). 셋째, 실험 시간을 오전 9시부터 오후 6시까지로 설정하였기 때문에, 그 밖의 시간대에 대해서는 추가적인 분석이 불가능하다. 향후 활발한 연구를 통해 다양한 산림공간을 대상으로 보다 많은 시간대의 데이터가 수집된다면, 공간적·시간적 조건을 모두 고려한 최적의 산림환경 이용조건을 제시할 수 있을 것이다.

결론

본 연구를 통해 산림환경을 이용하는 시간대에 따라 이용객의 쾌적감과 치유 효과가 달라질 수 있으며, 여름철에는 오전에 산림환경을 이용하는 것이 효과적이라는 사실이 밝혀졌다. 이러한 연구결과는 향후 안전하고 쾌적한 산림환경 이용을 위한 정책 마련 및 향후 연구의 기초 자료로써 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

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

References

- Blosh, S., Lemeignan, M., and Aguilera, N. 1991. Specific respiratory patterns distinguish among human basic emotions. *International Journal of Psychophysiology* 11(2): 141-154.
- 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.
- International organization for standardization. 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
- Jang, Y.S., Yoo, R.H. and Lee, J.H. 2020. The characteristics of forest leisure activities and demographic factors influencing visitor preference. *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(2): 231-242.
- Joung, D.W., Choi, Y.H., Kwoun, C.W., Yeom, D.G., Kim, G.W., Kang, K.N., Kim, Y.T., Ji, D.H., Yoshifumi, M. and Park, B.J. 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.
- Kim, G.W., Kwon, C.W., Lim, H.J., Yeom, D., Choi, Y.H., Joung, D., Lim, H.H., Shin, H.S. and Park, B.J. 2013. Relationship between NVOC and Korean Red Pine (*Pinus densiflora*) Forest Environment in Winter Season. *The Journal of Korean institute of Forest Recreation* 17(4): 133-141.
- Kim, G.W., Kwon, C.W., Yeom, D., Joung, D., Choi, Y.H. and Park, B.J. 2014. Relationship between NVOCs Concentration and Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest Environment in Spring Season. *Journal of Korean Forest Society* 103(3): 483-489.
- Kim, J., Song, I., Kim, C., Gho, H., An, S., Song, D., Joung, D., Kang, S., Yi, Y., Park, B.J. and Song, C. 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.A., Park, Y.G., Cho, K.H., Hong, M.H., Han, H.C., Choi, Y.S. and Yoon, D. 2005. Heart rate variability and obesity indices: emphasis on the response to noise and standing. *The Journal of the American Board of Family Practice* 18(2): 97-103.
- Kim, K.H. 2010. A study for measurement of radial artery oxygen saturation systemusing photoelectric plethysmography. *Journal of The Korea Society of Computer and Information* 15(3): 11-18.
- 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.
- Kobayashi, H., Park, B.J. and Miyazaki, Y. 2012. Normative references of heart rate variability and salivary alpha-amylase in a healthy young male population. *Journal of physiological anthropology* 31: 1-8.
- Korea Forest Service. 2023. Statistical yearbook of forestry 2022.
- Korea Meteorological Administration. 2022. Climate statistical analysis. <https://data.kma.go.kr/stcs/grnd/grndTaList.do?pgmNo=70>.
- Korea Meteorological Administration. 2023. Climate statistical analysis. <https://data.kma.go.kr/stcs/grnd/grndTaList.do?pgmNo=70>.
- Korean National Park Service. 2023. National Park Basic Statistics 2022.
- Lee, Y.C., Lee, H., Hwang, E.J., Bae, J., Min, Y. and Kim, B.S. 2013. ANS and CNS reponses according to thermal comfort based on the PMV. *Journal of the Korean Data Analysis Society* 15(1): 349-358.
- Lim, E.N., Lee, W.S., Choi, C.H., Song, B.G. and Jung, S.G. 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.
- Lin, W., Zeng, C., Lam, N.S.N., Liu, Z., Tao, J., Zhang, X., Lyu, B., Li, N., Li, Di. and Chen, Q. 2021. Study of the relationship between the spatial structure and thermal comfort of a pure forest with four distinct seasons at the microscale level. *Urban Forestry & Urban Greening* 62: 127168.
- Lindsey, R. and Dahlman, L. 2020. Climate change: Global temperature. *Climate. gov.* 16.
- McManis, M.H., Bradley, M.M., Berg, W.K., Cuthbert, B.N. and Lang, P.J. 2001. Emotional reactions in children: Verbal, physiological, and behavioral responses to affective pictures. *Psychophysiology* 38(2): 222-231.
- Moon, Y.J., Noh, K.C. and Oh, M.D. 2007. Simplification of PMV through multiple regression analysis. *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 19(11): 791-769.

- Park, B.J., Kyeon, C.W., Choi, Y.H., Yeom, D.G., Kim, G.W. and Joung, D.W. 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 Forest Society* 104(2): 261-266.
- Schiller, G.E. 1990. A comparison of measured and predicted comfort in office buildings.
- Shim, C., Kim, O.S., Han, J., Song, S., Na, G. and Kim, K.W. 2019. A Projected Population Exposed to Future Hot Weather Events Considering the Korean Society with Low Birth Rate and Rapid Aging: For Supporting Regional Policy Measures.
- Terathongkum, S. and Pickler, R.H. 2004. Relationships among heart rate variability, hypertension, and relaxation techniques. *Journal of Vascular Nursing* 22(3): 78-82.
- World Meteorological Association. 2022. State of the global climate 2021.

Manuscript Received : November 10, 2023
 First Revision : December 18, 2023
 Second Revision : February 26, 2024
 Accepted : February 27, 2024