

ORIGINAL ARTICLE

## 전두엽 혈류 측정을 통한 산림녹지 내 수경관 유형별 치유 효과 분석

강민지 · 윤초혜 · 이정원<sup>1)</sup> · 이주영\*

한경국립대학교 조경학과, <sup>1)</sup>한국산림복지진흥원 산림복지연구개발센터

### The Analysis of Therapeutic Effects of Forest landscapes with different Water-scape types Using Hemodynamic measurement in Prefrontal cortex

Minji Kang, ChoHye Youn, Jeongwon Lee<sup>1)</sup>, Juyoung Lee\*

*Department of Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korrea*

*<sup>1)</sup>Forest Welfare Research Center, Korea Forest Welfare Institute, Yeongju 36043, Korea*

#### Abstract

When situated in green landscapes, water bodies play a crucial role in positively influencing mood and mental health, yet research on the cognitive mechanisms underlying these therapeutic effects is lacking. This study is intended to examine differences in brain function among adult males exposed to forest landscapes with or without water bodies. The wooded landscapes included views of a waterfall, a valley, and a forest without water. The control group was exposed to a local urban landscape. Twelve adult males participated in a field experiment in which prefrontal cortex (PFC) activity was measured using near-infrared spectroscopy (NIRS). In the experiment, participants engaged in low-intensity walking in three forested areas with similar vegetation and climatic conditions. Participants showed significant differences in left PFC activity depending on whether they were in the three forested landscapes or in the control landscape ( $P < 0.01$ ). An analysis of variance (ANOVA) confirmed that significantly lower left PFC activity was recorded in the wooded landscape containing a water view. Notably, the lowest PFC values recorded in the landscape with a waterfall view suggest that landscapes with dynamic water flow may be associated with greater therapeutic benefits in terms of PFC activity than static landscapes. Our results underscore that water is a critical aspect of a landscape due to its therapeutic benefits and should be incorporated in the planning and design of green spaces for health promotion.

**Key words:** Green space, Brain, Mechanism, NIRS, Dynamic water flow

#### 1. 서론

건강과 삶의 질이 전 세계적 화두가 됨에 따라 자연이 제공하는 건강 효과와 함께 녹지 공간의 핵심 요소에 관한 관심이 높아지고 있다. 과거 바이오피리아 (Biophilia) 이론을 기점으로 녹지와 같은 자연은 생명의 기원이자 인간에게 가장 최적화 된 환경으로 인식되

어져 왔으며, 오늘날 녹지 공간은 인간의 건강한 삶을 유지 및 제고하기 위한 필수 요소로 자리매김하고 있다 (Yang and Lee, 2017). 이에 따라 산림과 같이 식생으로 구성된 녹지 공간을 대상으로 하는 많은 연구가 진행되었으며, 심리적, 행동학적, 생리적 측면 등 다양한 관점에서의 효과가 보고되어 왔다(Kim et al., 2012; Lee et al., 2014; Jeong and Lee, 2021). 최근에는

Received 10 January, 2024; Revised 19 January, 2024;

Accepted 23 January, 2024

\*Corresponding author : Juyoung Lee, Department of Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea  
Phone : +82-31-670-5213  
E-mail : lohawi@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

산림 녹지가 지니고 있는 다양한 물리적 환경요소를 중심으로 치유 효과를 밝히기 위한 연구들이 주목받고 있으며, 다양한 구성 요소 중 특히 물은 매혹 가치가 높은 회복 환경의 요소로 다수의 연구에서 언급되고 있다(Nasari et al., 2018; Xie et al., 2021; Zhang et al., 2021).

일상생활에서 수환경을 접하는 것이 건강에 긍정적 영향을 미친다는 결과가 보고됨과 함께(Wheeler et al., 2012) 2010년대를 기점으로 물이 제공하는 잠재적인 건강 이점에 관한 연구들이 본격 수행되었으며, 최근 녹지 분야 연구들은 회복 환경의 요소로써 수체의 역할을 강조하고 있다(Herzog and Chernick, 2000; Kaltenborn and Bjerke, 2002; Nasari et al., 2018; Zhao et al., 2018; Hsieh et al., 2023; Song et al., 2023). 이들 연구는 주로 물의 청각적 요소와 시각적 요소에 초점을 맞추어 녹지 내 수환경이 인간 건강에 미치는 효과를 밝혔다. 청각적 측면의 연구들은 다양한 유형의 물소리를 중심으로 수면 개선(Nasari et al., 2018), 생리적 스트레스 감소(Hsieh et al., 2023; Song et al., 2023), 정서 안정(Zhao et al., 2018)의 효과를 보고하였으며, 시각적 요소에 관한 연구들은 녹지 내 수경에 주목하여 경관 선호도(Herzog and Chernick, 2000; Kaltenborn and Bjerke, 2002), 스트레스 감소와 정서 개선(Laumann et al., 2001, 2003; Zhang et al., 2021) 효과를 밝혀냈다. 하지만 청각적 요소에 초점을 맞춘 연구들의 경우 실제 자연에서 진행된 것이 아닌 소리를 녹음하여 별도의 실험실에서 진행한 연구로 이를 실제 자연에서의 청각적 효과로 보긴 어렵다는 한계를 지니고 있으며, 시각적 요소와 관련한 연구들의 경우, 경관 선호도와 심리평가 등 주관적 방법을 택하고 있어 객관적인 결과로 정량화하기에 제한적이다.

수경은 하천, 강, 호수, 습지, 해안 등 넓은 수역이 있는 풍경을 의미하며(Zhang et al., 2021), 정서 안정과 정신 건강에 긍정적인 영향을 미쳐 녹색 경관의 잠재적 치유 효과에 있어 중요한 역할을 한다(Xie et al., 2021). 그러나 이러한 이점에도 불구하고 수환경의 시각적 요소를 중심으로 인지 메커니즘을 정량적으로 밝혀낸 연구는 아직 부족하다. 인지 메커니즘의 경우 뇌와 밀접한 관련을 가지는데, 이는 뇌가 인간이 시각을 통해 환경을 인지하는 데 가장 근본적인 역할을 하는 인체구조로 물리적·사회적 환경 속에서 인간이 받는 여러 가지 스트레스를 처리하는 부위라는 데에서 근거한다(Park, 2017). 이에 따라 뇌는 주변 환경에 민감하게 반응하고 스트레스 및 정서적 반응을 반영하는 지표로서 유효하여 다양한 분야에서 자주 사용되고 있으며(Lee et al., 2007; Gold et al., 2016; Kang et al., 2022; Youn et al., 2022), 특히 자연환경의 치유 효과에 관한 연구들의 경우에서는 뇌 부위 중 전두엽 반응을 중심으로 자연에서의 뇌 기능 변화를 분석하고 있다(Joung et al., 2015; Lee, 2017; Song et al., 2020). 전두엽은 뇌의 가장 앞쪽에 위치하는 넓은 부위로 인지기능과 정서 반응을 처리하는 역할을 담당한다(Lovallo, 2015; Park, 2017). 스트레스 상태 시 기능이 감소되는 전두엽은 긍정 정서에 혈류량이 감소하고 부정 정서와 스트레스 상태 시 혈류량이 증가하는 경향이 나타나는 부위로 알려져 있다(Arnsten, 2009; Kim et al., 2014). 이처럼 신뢰도가 높은 지표임에도 불구하고 인간의 뇌 기능과 수환경과의 상관성을 조사한 사례는 거의 없으며, 일부 수환경을 대상으로 뇌 반응을 분석한 연구의 상당수는 실내에서 이루어지고 있음이 나타났다(Lee et al., 2009; Xie et al., 2021). 실제 수환경은 경관, 소리 뿐 아니라 종합적인 자극으로 사람에게 영향을 미치기에 수환경의 객관적 치유 효과 검증을 위해서



Fig. 1. Experiment sites.

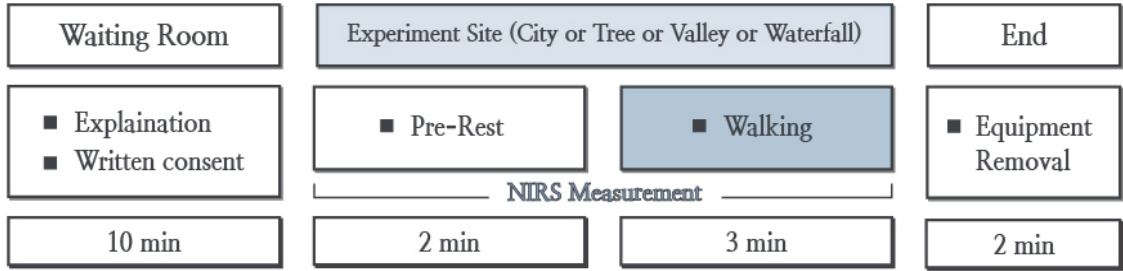


Fig. 2. Experiment Protocol. The order of experiment sites were visited was assigned randomly.

는 실제 환경을 대상으로 연구가 진행되어야 한다 (Völker and Kistemann, 2011).

이에 본 연구는 녹색 경관의 치유 요소로서 수경의 잠재적 효과를 검증하기 위해 녹지 환경 내 수경관의 유무와 유형을 구분하여 인체에 미치는 영향을 조사하고자 현장 실험을 통해 경관별 뇌 기능 차이를 분석하였다. 대뇌 혈류 변화를 중심으로 녹지 내 수경이 뇌 기능에 미치는 효과에 관한 실증적 검토를 통해 수경이 제공하는 다양한 측면의 건강 편익에 대한 이해를 도모하고, 환경계획에서 수경의 활용에 대한 시사점을 도출하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 연구 대상자 및 연구 장소

녹지 경관 종류에 따른 뇌 기능 안정 효과의 차이를 분석하기 위해 실시한 현장 실험에는 성인 남성 12명이 참여하였다(24.0 ± 0.9; 평균연령 ± 표준편차). 모든 참가자는 정신 신경계 등의 기저질환이 없는 자들로, 자발적인 연구 참여가 가능한 지원자에 한정하여 연구를 진행하였다. 연구 대상자 규모는 선행연구 분석을 통해 규모의 적절성, 통계 검정의 유효성, 현장실험의 용이성 등을 고려하여 설정하였으며, G\*power 3.1.9.4 프로그램을 이용하여 효과 크기  $\alpha=0.80$ , 유의수준  $d=0.05$ , 검정력  $1-\beta=0.80$ 으로 설정한 결과 최소 표본 수는 12명인 것으로 확인되어 본 연구는 적정 표본 수를 충족하는 것으로 나타났다. 본 연구는 헬싱키선언의 지침에 따라 공동기관 생명윤리위원회의 심의를 받은 후 진행되었다(P01-202203-01-020).

녹지 환경 내 수경관의 유무와 유형에 따른 뇌 기능 안정 효과를 실증적으로 검토하기 위해 임상 구조는 비

슷하나 경관의 종류가 다른 3종의 녹지를 대상으로 선정하였으며(국립산림치유원 내 위치), 대상지 인근에 위치한 도시지역인 풍기읍을 대조 지역(이하, City)으로 선정하였다. 임상 구조의 경우 세 군데 모두 비슷한 식생으로 구성된 녹지를 선정하였으며, 소나무와 낙엽송, 참나무류로 구성된 혼효림으로서 낙엽활엽수가 우점하는 특성을 띠는 것으로 나타났다. 3종의 녹지는 수경관 특성 및 유무에 따라 폭포 경관(이하, Waterfall view), 계곡 경관(이하, Valley view), 수경관이 없는 녹지 경관(이하, Tree View)으로 구분하였다 (Fig. 1). 폭포는 너비 약 12 m \* 고저차 4 m이며 계류는 폭 2-5m의 규모로서 연간 지속적으로 물이 흘러 수환경이 주는 다양한 자극을 느끼기에 적합한 곳으로 선정하였다. 모든 실험 환경은 안전에 방해가 되는 요인들을 사전에 점검 및 제거하여 안전한 수준을 유지하였으며, 경상북도 영주시에 위치한 국립산림치유원 내에 연구 참가자를 위한 대기실을 마련하여 연구 대상자에게 쾌적한 휴식 환경을 제공함으로써 연구를 진행하는 동안의 피로를 최소화할 수 있도록 하였다. 모든 실험은 동일한 기상 여건 속에서 진행하였으며, 빛에 의한 시각 자극을 고려하여 측정할 실험 당일 조도는 10,612±4,211lx로 나타났다.

### 2.2. 측정 지표 및 실험 절차

본 연구에서는 근적외선분광법(Near-infrared spectroscopy; 이하, NIRS)을 활용하여 경관 유형에 따른 뇌 혈류 변화를 관찰하였다. 근적외선분광법은 측정 대상에 700~1,000 nm의 근적외광을 조사하여 대뇌 전전두피질(Prefrontal Cortex; PFC)의 헤모글로빈 농도 변화를 통해 활성화 정도를 측정할 수 있는 도구로, 뇌 기능 안정도를 비침습적 방식으로 평가할 수

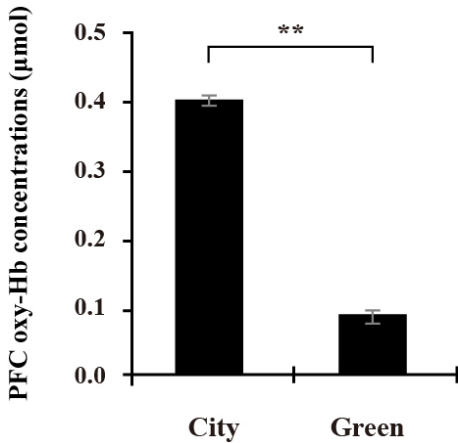


Fig. 3. Overall mean left prefrontal cortex Oxy-Hb concentrations. Data are expressed as means  $\pm$  standard error;  $n = 12$ ,  $**p < 0.01$ ; paired t-test (one-sided).

있는 지표이다(Ferrari et al., 2004; Kang et al., 2022). 본 연구에서는 발광부 5개, 수광부 7개, 총 15CH로 구성된 기기를 활용하였으며(NIRSIT LITE, OBELAB, Korea), 피험자의 눈썹 위 1cm 정도의 이마 중앙에 견고하게 부착하여 빛이 들어가지 않도록 고정 후 측정을 진행하였다.

Within-group comparison을 위한 현장 실험을 수행하기 전 참가자를 대상으로 국립산림치유원 내 마련된 대기실에서 연구에 대한 설명을 진행하였으며, 모든 참가자는 연구 참여 동의서에 서명한 후 실험에 참여하였다. 참가자들은 경관이 다른 네 지역에서의 산책을 모두 수행하였으며, 순서효과를 상쇄하기 위해 참가자에 따라 실험 환경 순서를 무작위로 배치하였다. 각 연구대상지로 이동 후 근적외선분광장치(NIRIT LITE, OBELAB, Korea)를 부착하였으며, 2분간 사전 안정을 취한 다음 각 장소에서의 산책을 3분간 수행하였다. 근적외선분광법을 활용한 대뇌 혈류 반응의 경우 모든 실험 과정 동안 지속적으로 측정되었다. 각 대상지 및 대조지역 간 이동은 연구자의 통제에 따라 차량으로 진행하였으며, 모든 실험 절차는 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.3. 데이터 분석

본 연구에서는 경관에 따른 뇌 기능 안정 효과를 정량적으로 검증하기 위해 대뇌 전전두엽 혈류 변화에 초

점을 맞추어 경관별 혈류 반응을 분석하였다. 심도 있는 분석을 위해 참고한 뇌 과학연구 결과(Al-Shargie et al., 2016; Yeo et al., 2018)에서 우측 PFC에 비해 좌측 PFC에서 일관된 혈류 변화 경향이 도출되고 있는 점을 고려하여 이번 연구에서는 좌측 PFC 부위를 중심으로 분석을 진행하였으며, 부정적인 정서를 처리하는 데 중요한 역할을 하는 배측 전전두피질(Dorsolateral prefrontal cortex)과 정서적 반응과 직결되어 스트레스에 가장 민감하게 반응하는 복측 전전두피질(Ventrolateral Prefrontal Cortex)의 경계에 있어서의 혈류량 변화를 분석하였다(Arnsten, 2009; Nelson and Guyer, 2011; Kim et al., 2014; Park, 2017). 수집한 데이터는 SPSS version 21.0 software (IBM, USA)을 이용하여 통계 처리하였다. 뇌 혈류 분석을 위한 산화헤모글로빈(이하, Oxy-Hb) 농도 수준은 NIRS를 활용하여 뇌혈류변화 분석을 진행한 선행연구들을 참고하여 도시와 녹지간 비교는 대응표본 t검정 (paired t-test)을 사용하였다. 그룹 간 유의차 검정은 일원배치분산분석(One-Way ANOVA)을 적용하였고 (Joung et al., 2015; Lee, 2017; Song et al., 2020), 그룹 간 비교는 사후검정을 통해 확인하였다. 모든 결과 값은 평균  $\pm$  표준 오차(SE)로 제시하였으며, 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 도시 경관 대비 녹지 경관에서의 대뇌 혈류 변화

본 연구에서는 녹지 경관의 뇌 기능 안정 효과를 정량적으로 분석하기 위해 도시 경관과 녹지 경관에서의 좌측 PFC 혈류 변화 비교를 첫 번째 목표로 진행하였으며, 이를 위해 세 경관 유형의 녹지에서 산책 동안의 평균 Oxy-Hb 농도와 도시 경관에서의 농도 변화를 분석하여 주목할 만한 차이를 밝혀냈다. 3분간 산책 동안의 좌측 PFC 혈류 변화 분석 결과, 도시 경관에 비해 녹지 경관에서 유의하게 낮은 Oxy-Hb 농도 변화가 관찰되었다(녹지 경관,  $0.088 \pm 0.014 \mu\text{M}$ ; 도시 경관,  $0.399 \pm 0.007 \mu\text{M}$ ;  $p < 0.001$ ; Fig. 3). 신경과학 분야 선행연구에 따르면 Oxy-Hb 농도가 적정수준에서 감소하는 것은 대뇌 PFC 혈류량이 줄어든다는 것을 의미하며, 이는 생리적 스트레스가 감소한다는 결과로 해석된다(Lee et al., 2007; Yeo et al., 2018). 이러한 결과는 녹지 경관과 도시 경관에서의 대뇌 혈류 변화를

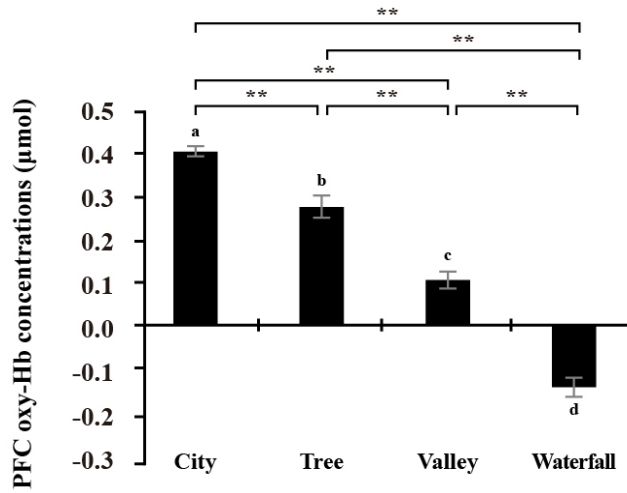


Fig. 4. Comparison of left prefrontal cortex Oxy-Hb concentrations in four different landscapes. Data are expressed as means  $\pm$  standard error; n = 12, \*\* $p < 0.01$ ; One-way ANOVA followed by a post-hoc Duncan test.

비교한 이전의 연구와 일치하는 결과로(Joung et al., 2015; Lee, 2017; Kang et al., 2022), 이를 고려할 때 본 연구의 결과는 녹지 환경의 다양한 경관이 인간의 뇌 기능 안정을 촉진하여 생리적 스트레스 감소에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사할 수 있다.

### 3.2. 녹지 내 수경관의 유무와 유형에 따른 뇌혈류 반응

본 연구는 녹지 공간이 인간에게 미치는 긍정적인 영향을 확인한 이전 결과를 바탕으로, 녹지 환경 내 다양한 요소 중 수경의 존재에 집중하였으며 녹지 내 수경이 뇌 기능 안정에 미치는 효과에 관한 실증적 검토를 위해 녹지 환경 내 수경관의 유무와 유형을 구분하여 뇌 기능 안정 효과를 분석했다. 연구 결과, 수경이 포함된 녹지 공간은 그렇지 않은 곳에 비해 좌측 PFC 혈류량이 현저히 감소하는 것으로 나타났다(Tree View:  $0.283 \pm 0.026\mu\text{M}$ ; Valley View:  $0.114 \pm 0.020\mu\text{M}$ ; Waterfall View:  $-0.132 \pm 0.022\mu\text{M}$ ;  $p < 0.01$ ; Fig. 4). 특히, 폭포 경관(Waterfall View)에서 가장 낮은 PFC 혈류 반응이 나타나 비교적 정적인 계곡 경관(Valley View)에 비해 동적인 수경이 뇌의 이완에 가장 큰 영향을 미칠 수 있음이 검증되었다(Table. 1). 이러한 결과는 녹지 내 수체의 청각적 요소를 대상으로 대뇌 안정 효과를 검증한 이전 연구들과 비슷한 결과로, 대뇌 혈류 분석을 통해 폭포 소리를 들을 때 피로와

스트레스가 해소된다는 결과를 보고한 다수의 선행연구를 미루어 볼 때(Pak et al., 2015; Hori et al., 2017; Tian and Bae, 2020; Hsieh et al., 2023), 본 연구의 결과는 폭포와 같은 역동적인 물이 보이는 녹지 공간과의 접촉이 정적인 수경관과 녹지 경관이나 도시 경관에 비해 뇌 기능 안정을 크게 촉진할 수 있음을 시사하며 녹지 환경에서 수경의 중요성과 뇌 기능 안정 및 회복 효과를 강조한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 녹지 환경과 뇌 기능 안정 사이의 연관성을 깊이 탐구하기 위해 녹지 환경 속 주요 요소로 작용하는 수경관을 대상으로 대뇌 전전두피질(PFC) 혈류 변화를 분석하여 수경관 유형에 따른 치유 효과의 차이를 조사하였다. 도시와 산림녹지를 비교한 결과, 산림녹지 환경은 도시 환경에 비해 좌측 PFC 혈류량을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 자연적 요소로 구성된 녹지 경관이 생리적 스트레스 감소 효과를 제공할 뿐만 아니라 심리적 회복 효과 또한 제공할 수 있다는 선행연구의 결과와 대체로 일치한다(Chang et al., 2008; Lee et al., 2009). 이와 함께 본 연구에서는 녹지 환경의 구성요소인 수경관이 대뇌 활동에 미치는 영향을 보다 심층적으로 이해하기 위해 녹지 내 수경관의 유무와 유형에 따른 전두엽 혈류 반응을 분석하

**Table 1.** Overall mean left prefrontal cortex Oxy-Hb concentrations in the four types of landscape. Data are expressed as means  $\pm$  standard error; n = 12; One-way ANOVA

Environments	Mean $\pm$ SE ( $\mu$ Mol)	df	F	p-value
City view	0.410 $\pm$ 0.011	Between Group = 3 Within Group = 1916 Total = 1919	130.898	<.01
Tree view	0.283 $\pm$ 0.026			
Valley view	0.114 $\pm$ 0.020			
Waterfall view	-0.132 $\pm$ 0.022			

였다. 그 결과, 산림녹지에서 수(水)환경의 존재가 대뇌 전두엽의 안정에 유의미한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 전두엽은 스트레스와 감정 및 정서 작용과 밀접한 관련이 있으며, 본 연구에서 조사한 부위인 배측전전두피질 및 복측전전두피질의 영역은 이러한 반응과 직결되는 부위이다(Park, 2017). 스트레스 및 부정 정서가 증가할 때 이 두 부위에서의 혈류량 증가가 관찰되므로(Lee et al., 2007; Nelson and Guyer, 2011; Kim et al., 2014) 본 연구에서 나타난 수경관에서의 혈류량 감소는 생리적 스트레스의 감소를 반영하는 결과로 해석할 수 있다. 특히, 상대적으로 정적인 수환경에 속하는 계곡 경관에 비해 폭포와 같이 동적인 특성을 갖는 수환경이 대뇌의 긴장 이완에 보다 효과적일 수 있다는 결과는 향후 치유 활동에 적합한 환경을 도출하는데 있어 시사하는 바가 크다고 볼 수 있다. 폭포는 경관의 변화와 소리에 있어서 계곡의 그것에 비해 사람들에게 주는 긍정적 자극의 강도가 세므로 이러한 환경적 특성이 영향을 미쳤을 가능성이 높다.

본 연구는 수경관이 공존하는 환경에서 심리·생리적 안정 효과가 두드러진다고 보고한 선행연구(Lee et al., 2009; Zhao et al., 2018; Xie et al., 2021; Zhang et al., 2021; Wang et al., 2022) 결과에 대한 기작을 설명하는 근거(evidence)가 될 수 있다. 비록 적은 유형이긴 하나 수환경의 특성에 따른 치유 효과 차이를 도출하였다는 점에서 중요한 의미를 지닌다. 치유 효과는 개인 속성에 따른 차이가 있기 때문에(Song et al., 2013; Kobayashi et al., 2017; Kim et al., 2021) 본 연구의 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 산림 등 자연의 다양한 환경특성이 스트레스 및 정서반응을 관장하는 대뇌에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구는 치유 환경을 고려하는데 중요한 요소이나 관련 연구는 빈약한 실정이다. 향후 다양한 그룹을 대상으로 녹지 환경의 다양한 구성 요소가 대뇌에 미치는 영향에 대해 심층적으로 연

구되어야 하며, 이를 바탕으로 치유 효과를 높이기 위한 녹지 환경의 도출 방안에 대해서도 구체적으로 검토되어야 할 것이다. 자연환경과 뇌 기능과의 관련성에 대해서는 방법론적 측면과 해석적 측면에서 한계가 존재하긴 하지만 최근의 연구를 통해 해법을 찾아가고 있으며, 관련 데이터의 축적은 근거에 기반 한 치유 환경의 설계 및 구현에 기여할 것으로 사료된다.

도시화가 더욱 가속되고 있는 현대 사회에서 녹지 환경은 치유 공간으로 중요한 역할을 하며 그 잠재적 이점을 밝히기 위한 노력이 계속되고 있다. 본 연구는 녹지 환경이 대뇌 전두엽에 미치는 영향을 정량적으로 도출함으로써 이전의 심리학적 연구 결과들을 설명하기 위한 객관적 근거를 제공하였다. 수환경의 특성에 따라 치유 효과의 차이를 정량적으로 도출함과 동시에 동적인 수환경이 대뇌의 안정을 보다 효과적으로 촉진할 수 있다는 결과를 통해 치유 환경에 대한 새로운 이해를 제공하였음에 의의가 있다. 향후 다양한 수환경을 대상으로 물과의 접촉 방식에 따른 치유 효과의 차이에 대해서도 검토되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2021384D10-2123-0101)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## REFERENCES

- Al-Shargie, F., Tang, T. B., Kiguchi, M., 2016, Mental stress grading based on fNIRS signals, In 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, Orlando, Florida, USA, 5140-5143.
- Arnsten, A. F., 2009, Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function, Nat. Rev. Neurosci., 10(6), 410-422.

- Chang, C. Y., Hammitt, W. E., Chen, P. K., Machnik, L., Su, W. C., 2008, Psychophysiological responses and restorative values of natural environments in Taiwan, *Landsc. Urban Plan.*, 85(2), 79-84.
- Ferrari, M., Mottola, L., Quaresima, V., 2004, Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 29(4), 463-487.
- Gold, A. L., Shechner, T., Farber, M. J., Spiro, C. N., Leibenluft, E., Pine, D. S., Britton, J. C., 2016, Amygdala-cortical connectivity: associations with anxiety, development, and threat, *Depress. and anxiety*, 33(10), 917-926.
- Herzog, T. R., Chernick, K. K., 2000, Tranquility and danger in urban and natural settings, *J. Environ. Psychol.*, 20(1), 29-39.
- Hori, S., Mori, K., Mashimo, T., Seiyama, A., 2017, Effects of light and sound on the prefrontal cortex activation and emotional function: A functional near-infrared spectroscopy Study, *Front. Neurosci.*, 11, 321.
- Hsieh, C. H., Yang, J. Y., Huang, C. W., Chin, W. C. B., 2023, The effect of water sound level in virtual reality: A study of restorative benefits in young adults through immersive natural environments, *J. Environ. Psychol.*, 88, 102012.
- Jeong, P. Y., Lee, J. Y., 2021, A Systematic review on the correlation between forest landscape and therapeutic effects, *J. Environ. Sci. Int.*, 30(7), 529-536.
- Joung, D., Kim, G., Choi, Y., Lim, H., Park, S., Woo, J. M., Park, B. J., 2015, The prefrontal cortex activity and psychological effects of viewing forest landscapes in autumn season, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12(7), 7235-7243.
- Kaltenborn, B. P., Bjerke, T., 2002, Associations between environmental value orientations and landscape preferences, *Landsc. Urban Plan.*, 59(1), 1-11.
- Kang, M. J., Kim, S. J., Lee, J. Y., 2022, Pilot study on the Physio-psychological effects of botanical gardens on the prefrontal cortex activity in an adult male group, *J. People Plants Environ.*, 25(4), 413-423.
- Kim, K. M., Kim, M. K., Lee, S. H., 2014, Neurobiological basis of anxiety related disorders, *Korean J. Biol. Psychiatry*, 21(4), 128-140.
- Kim, K. M., Lim, H. J., Kim, S. H., Choi, Y. H., Shin, W. S., Park, B. J., 2012, The difference of psychological relaxation effects between natural recreation forest and urban forest, *J. of KIFR*, 16(1), 53-58.
- Kim, S. J., Kang, M. J., Lee, J. Y., 2021, Verification of physiological and psychological effects of vertical indoor garden, *J. Environ. Sci. Int.*, 30(1), 1-10.
- Kobayashi, H., Song, C., Ikei, H., Park, B. J., Lee, J., Kagawa, T., Miyazaki, Y., 2017, Population-based study on the effect of a forest environment on salivary cortisol concentration, *Int. J. Environ. Res.*, 14(8), 931.
- Laumann, K., Gärling, T., Stormark, K. M., 2001, Rating scale measures of restorative components of environments, *J. Environ. Psychol.*, 21(1), 31-44.
- Laumann, K., Gärling, T., Stormark, K. M., 2003, Selective attention and heart rate responses to natural and urban environments, *J. Environ. Psychol.*, 23(2), 125-134.
- Lee, J. H., Shin, W. S., Yeoun, P. S., Yoo, R. H., 2009, The influence of forest scenes on psychophysiological responses, *J. Korean For. Soc.*, 98(1), 88-93.
- Lee, J., 2017, Experimental study on the health benefits of garden landscape, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(7), 829.
- Lee, S. S., Yoo, B. K., Kim, Y. T., Kim, H. S., 2007, Functions of orbitofrontal cortex, *J. Korean Soc. Biol. Ther. Psychiatry*, 13(1), 36-44.
- Lee, Y. H., Park, C. W., Kim, J. J., 2014, Effects of visual stimulus with forest scenery types on psychological and physiological status of human, *J. People Plants Environ.*, 17(1), 65-71.
- Lovullo, W. R., 2005, Stress and health: Biological and psychological interactions, 2nd ed.; Sage Publications: Thousand Oaks, CA, USA, 133-154.
- Nasari, M., Ghezeljeh, T. N., Haghani, H., 2018, Effects of nature sounds on sleep quality among patients hospitalized in coronary care units: a randomized controlled clinical trial, *Nurs. Midwifery Stud.*, 7(1), 18-23.
- Nelson, E. E., Guyer, A. E., 2011, The development of the ventral prefrontal cortex and social flexibility, *Dev. Cogn. Neurosci.*, 1(3), 233-245.
- Pak, S. Y., Kim, M. S., Bae, M. J., 2015, Acoustic characteristics of sounds in the forest. *International Information Institute (Tokyo), Information*, 18(10), 4115.
- Park, M. H., 2017, Dr. Park Moon-ho's Study of Brain Science, Korea, Gimmyoung.
- Song, C., Ikei, H., Kagawa, T., Miyazaki, Y., 2020, Effect of viewing real forest landscapes on brain activity, *Sustainability*, 12(16), 6601.
- Song, C., Ikei, H., Lee, J., Park, B. J., Kagawa, T., Miyazaki, Y., 2013, Individual differences in the physiological effects of forest therapy based on Type A and Type B behavior patterns, *J. Physiol. Anthropol.*, 32, 1-7.
- Song, I., Baek, K., Kim, C., Song, C., 2023, Effects of nature sounds on the attention and physiological and psychological relaxation, *Urban For. Urban Green.*, 127987.
- Tian, Z., Bae, M., 2020, On the Signal Analysis of Two Waterfall Sounds in Australia's Broken Falls, *Int. j. adv. cult. technol.*, 8(4), 287-293.
- Völker, S., Kistemann, T., 2011, The impact of blue space on human health and well-being-Salutogenetic health effects of inland surface waters: A review, *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 214(6), 449-460.

- Wang, P., He, Y., Yang, W., Li, N., Chen, J., 2022, Effects of soundscapes on human physiology and psychology in Qianjiangyuan National Park System Pilot Area in China, *Forests*, 13(9), 1461.
- Wheeler, B. W., White, M., Stahl-Timmins, W., Depledge, M. H., 2012, Does living by the coast improve health and wellbeing?, *Health. place*, 18(5), 1198-1201.
- Xie, Q., Lee, C., Lu, Z., Yuan, X., 2021, Interactions with artificial water features: a scoping review of health-related outcomes, *Landsc. Urban Plan.*, 215, 104191.
- Yang, S. Y., Lee, T. K., 2017, A Study on lighting environmental evaluation based on biophilia, *J. Korea hous. Assoc.*, 28(1), 19-26.
- Yeo, S. G., Seo, S. H., Kwak, S., Song, C., Lee, S., Min, B., 2018, A Study on the change of cerebral blood flow signal by mental stress using near infrared spectroscopy, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 8(8), 171-180.
- Youn, C. H., Chung, L. B., Kang, M., Kim, S. J., Choi, H. B., Lee, J., 2022, Effects of Green Walls on Prefrontal Cerebral Hemodynamics in Hospital Workers, *J. People Plants Environ.*, 25(6), 717-728.
- Zhang, X., Zhang, Y., Zhai, J., Wu, Y., Mao, A., 2021, Waterscapes for promoting mental health in the general population, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(22), 11792.
- Zhao, J., Xu, W., Ye, L., 2018, Effects of auditory-visual combinations on perceived restorative potential of urban green space, *Appl. Acoust.*, 141, 169-177.
- 
- Master. Min-Ji Kang  
Department of Landscape Architecture, Hankyong National University  
minzee682@naver.com
  - Master. Cho-Hye Youn  
Department of Landscape Architecture, Hankyong National University  
fot5577@naver.com
  - Master. Jeong-Won Lee  
Forest Welfare Research Center, Korea Forest Welfare Institute  
jwfowi@fowi.or.kr
  - Professor. Ju-Young Lee  
Department of Landscape Architecture, Hankyong National University  
lohawi@gmail.com