

분재의 프랙털이 심신이완에 미치는 영향

박영순 · 김재현^{ID*}

건국대학교 산림조경학과

The Effect of Fractal Dimensions of Bonsai on Relaxation

Young-soon Park and Jae-hyun Kim^{ID*}

Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

요약: 본 연구는 분재의 프랙털특성이 이완에 미치는 영향을 연구하였다. 프랙털은 자연의 형상을 표현하는 용어이며 프랙털은 이완 특성이 있다. 프랙털은 산림 환경은 물론 분재에서도 찾아 볼 수 있다. 그러나 분재의 프랙털에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 분재의 프랙털 특성이 이완에 효과적일 것이라는 가정을 하였다. 연구대상자는 결과의 신뢰성 확보를 위하여 분재에 대한 사전 지식이 없는 40대 전후의 스트레스 직군으로 선정하였다. 실험은 분재의 프랙털차원 추출 방법과 이완효과 검증으로 구분하였다. 프랙털차원은 상자세기 방식을 응용하였다. 효과 검증은 18명을 9명씩 구분하여 프랙털차원이 1.3~1.6의 분재와 그 외의 분재를 각각 5분씩 관망한 후 뇌전도 측정을 하였다. 2차 실험은 1차와 반대로 상호 교차 실험 후 뇌전도를 측정하였다. 뇌전도 결과는 알파파를 주목하였다. 2차례의 실험에서 프랙털차원 1.3~1.6을 적용한 그룹의 분석 결과는 유의미하였다($p=0.01^*$). 그 외의 분재 그룹은 통계적으로는 유의미하지 않았으나($p=0.08^{NS}$, 0.06^{NS}) 수치적으로는 긍정적이었다. 본 연구에서는 분재에 내재되어있는 프랙털특성을 이용한 산림치유 적용가능성에 초점을 두었다. 산림자원인 분재의 종류는 다양하며 계절에 따른 변화 또한 다채롭다. 향후 다양한 분재를 활용한 추가 실험을 통한 분재기반 치유프로그램의 확장이 기대된다.

Abstract: This study examined the impact of the fractal characteristics of bonsai on relaxation. Fractal patterns reflect shapes occurring in nature and promote relaxation. Fractals appear in both bonsai and forest environments, but insufficient research exists on the fractal characteristics of bonsai. This study assumed that the fractal characteristics of bonsai would be effective in inducing relaxation. The reliability of the study results was ensured by selecting participants from a group of 40-year-olds with stressful occupations and no prior knowledge of bonsai. The experiment entailed two aspects: devising a method to extract the fractal dimension of bonsai and verifying its relaxation effects. The box counting method was applied to ascertain the fractal dimension, and the 18 participants were divided into nine groups to verify the relaxation effects. The brain waves of each participant were measured after observing a bonsai with a fractal dimension of 1.3 to 1.6 or another type of bonsai for five minutes. A second crossover experiment was conducted in reverse order before recording participant electroencephalograms (EEGs), focusing on alpha waves. The group that observed the fractal dimension of 1.3~1.6 registered significant results ($p=0.01^*$) in both experiments. The outcomes for groups that observed other bonsai types were numerically positive but not statistically significant ($p=0.08^{NS}$, 0.06^{NS}). This study explored potential applications of the inherent fractal characteristics of bonsai to forest healing. Bonsai are created from varied forest resources and exhibit seasonal variations. Bonsai-based healing programs are expected to expand in the future once additional experiments are conducted using varied bonsai.

Key words: stress, bonsai, fractal dimension, self-similarity, relaxation

서론

국내에서 스트레스로 발생하는 사회적비용이 연간 37조

5000억 원에 이른다는 발표(Kim et al., 2012) 된 바 있다. 스트레스는 전 연령에서 다양하게 나타나는 현상으로 사회적 비용 상승의 원인 중 하나로 손꼽히고 있으며, 스트레스를 다룬 연구(Pariat et al., 2014)에서 스마트폰 또는 게임중독을 스트레스의 한 요인으로 정리 한바 있다. 그리고 스트레스의 원인에 대한 연구 중에 대학생의 스트레스 또는 우울과 스마트폰 중독의 상관성(Ahn, 2024), 직장인의 직무스트레스와

* Corresponding author

E-mail: jaehyunk@konkuk.ac.kr

ORCID

Jae-hyun Kim ^{ID} https://orcid.org/0000-0002-1244-419X

감정노동과의 상관성(Jeon, 2024), 청년층의 스트레스와 우울의 상관성(Seo, 2024) 그리고 직장인의 스트레스와 우울의 상관성(Yeom, 2024) 등을 통하여 스트레스의 다양한 원인을 찾아 볼 수 있었다.

그리고 스트레스 경감유도에 대한 방안 중, 자연에 대한 노출은 스트레스 경감에 효과적으로 작용한다는 Kaplan and Kaplan(1989)의 연구와 함께 산림치유가 스트레스 완화에 주요 해결책이 될 수 있다는 연구가 있었다. 자연환경에 노출된 후 면역 기능이 향상되는가 하면(Li et al., 2008), 스트레스가 감소하고(Beil and Hanes, 2013; Roe et al., 2013), 인체에 긍정적 영향이 커진다는 결과가 보고 된 바 있다(Beute and Kort, 2014; Bratman et al., 2015). 또한 전문적인 산림치유 프로그램을 활용한 연구 중에 여자간호대학생의 스트레스 경감(Song et al., 2014), 보전 종사자의 직무 스트레스(Shin et al., 2015), 교사의 직무 스트레스(Jo et al., 2015), 산림치유의 스트레스 회복비교(Park et al., 2014), 직무스트레스 고위험군의 스트레스 관리(Lee, 2015)를 비롯하여 사회복지전담공무원과 정신보건종사자의 직무스트레스에 미치는 영향(Shin et al., 2015), 그리고 감정 노동자의 스트레스(Lee et al., 2018) 등 많은 연구결과가 있다.

이러한 효과 이면에 산림환경까지의 접근성에 대한 문제를 제기한 내용도 있다. Kim(2012)은 산림환경까지의 장거리 이동에 따른 피로감을 치유효과의 장애요소로 정리하였으며, Oh(2023)는 치유의 숲 등 전문장소로 제한된 산림치유 접근성에 대한 어려움을 언급하였다. 또한, Lee(2023)는 쉽고 효과적이며 지속적으로 실생활에 적용 가능한 산림치유 프로그램의 필요성을 제안하였다. 이러한 문제의 해결 방안에 해당하는 연구 결과로써 간접적 산림체험이 심리에 미치는 영향을 다룬 연구(Jeon, 2017)를 비롯하여 디지털 환경에서의 시각적 산림치유 치유효과에 대한 실험적 분석(Kim and Shim, 2023) 그리고 가상현실 배경의 산림치유 시스템 개발(Kim et al., 2024)등 인공적 기술을 동원한 산림치유 방안에 대한 학술 및 실험 연구가 있었다. 이에 본 연구에서는 인공적 기술 외 분재를 활용한 심신이완 유도에 집중하였다.

분재를 활용한 스트레스 관리 선행연구에서 Ochiai et al.(2017)은 분재관람을 통한 정신적 이완의 긍정적 결과를 얻었으며, Song et al.(2018)은 분재를 1분간 예의주시하는 것만으로 생리적·심리적 이완을 유도한다는 사실을 입증했으며 Hermann(2021)은 분재를 통한 정신적인 면에서의 긍정적 변화를 실험으로 입증했다.

그러나 분재 기반의 이완 유도에 관한 선행 연구에서는 분재의 이완 기전에 대한 명확한 근거가 제시되지 않아, 본 연구에서는 분재의 프랙털차원(Fractal Dimension, FD)의 특성에 집중하여 연구를 진행하였다. 불규칙하면서도 규칙이 존재하는 조밀한

프랙털곡선은 나뭇가지, 공제선(空際線), 강줄기, 폐(肺)구조 등 자기유사성을 띠는 동·식물의 구조에서 찾아볼 수 있다.

프랙털패턴의 기본원리가 되는 이러한 자기유사성에 존재하는 거듭제곱의 법칙(James et al., 2022)은 분재의 수관(樹冠) 및 포락선(包絡線)에 나타나며 Taylor(2006)은 프랙털 특성의 자연의 선(線)을 관망하는 것만으로도 심리적·생리적 이완을 가져온다는 연구 결과를 발표하였다.

또한 NASA (National Aeronautics and Space Administration, 미국항공우주국)에서 우주왕복선 근무자의 스트레스 개선을 위하여 프랙털의 활용가능성을 연구한 결과에 따르면, 프랙털패턴의 이미지에는 긍정적인 반응이 나타난 반면, 프랙털이 아닌 추상 패턴에서는 오히려 피험자의 스트레스가 증가한다고 하였다(Wise and Rosenberg, 1986).

이러한 프랙털의 심신이완 효과를 Goldberger et al.(1990)은 마음과 뇌가 고유한 프랙털패턴을 가지고 있으며, 이 구조와 유사한 프랙털패턴을 인식하면 안정될 수 있다고 하였다. Simion(2016)은 인간은 프랙털에 대한 고유한 유대감이 있으며, 인체 구조가 프랙털이므로 프랙털패턴의 자연과 공존하고자 하는 욕구가 생기며, 이러한 내면과 외부의 표상의 연결을 통하여 스트레스가 이완될 수 있다고 보았다.

프랙털의 이완특성에 대한 반대한 자료를 수집 및 분석한 Salingaros(2012)는 인간과 자연의 프랙털차원의 일치 현상과 이로 인한 이완 현상을 공명(Resonance)으로 표현하였다.

심신이완현상이 나타나는 프랙털의 특성은 프랙털차원으로 특성화할 수 있다(Taylor, 2006). 프랙털차원은 유클리드 기하학에서의 정수형 차원과 달리 복소평면으로 표현되어 1차원과 2차원의 중간단계로써 1.x 차원으로 표현되며 사바나 환경의 프랙털차원을 연구한 Jeong(2017)과 자연형상의 프랙털차원을 연구한 Taylor(2006)는 인간의 심신이완을 이끌어내는 최적의 프랙털차원의 값은 1.3~1.6이라고 하였다.

이러한 배경에서 분재는 여느 실내 식물보다 다양한 프랙털패턴이 내재되어 있으나(FD: 1.3~1.6) 분재에 대한 프랙털연구와 이를 이용한 심신이완에 미치는 영향을 연구한 자료는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 박스세기 방식(Choi, 2009)을 이용하여 분재의 프랙털차원을 산출하여 실험에 적용하였으며 분재의 프랙털차원이 심신이완에 미치는 효과를 검증하고자 하였다. 이에 분재의 심신이완 기전으로서 프랙털형상의 시각적 요소를 프랙털차원으로 정량화하였다.

구체적으로는 ‘분재의 프랙털형상은 심신안정 효과를 유도할 것이다’라는 가설을 설정하고 이를 검증하기 위하여 분재의 프랙털차원 추출과 실험을 통하여 효과 분석을 하였으며, 뇌전도 기기를 활용하여 심신이완의 척도로 인용하는 알파파의 변화에 주목하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 분재의 심신이완 적용가능성 검증을 목적으로 스트레스 경감효과를 연구하였다. 즉 분재를 매개로한 실내공간에서의 심신이완을 고려하였다. 이를 위하여 ①분재의 프랙털 산출 방법을 고안하였으며 ②최적의 프랙털차원(1.3~1.6)을 지닌 분재를 선별하였다. 그리고 ③피험자 전원에게 프랙털분재와 그 외 분재를 순차 적용하여 사전·사후 뇌파 검측을 하되 Gross error를 최소화하기 위하여 피험자를 절반으로 나누어 프랙털 분재와 그 외 분재를 교차 적용하였다. ④검측은 사전·사후로 구분하여 뇌파의 알파파 변화를 측정하여 실험결과를 검증하였다.

1. 분재의 프랙털차원

FD는 프랙털 기하학에서 공간을 채우고 있는 패턴의 조밀성에 대한 수치화로 그 공간의 프랙털 정도를 나타낸다. 유클리드 공간에서의 차원 구분은 1, 2, 3과 같은 정수형으로 구분되나, 복소평면에 구성되는 프랙털차원은 소수점을 포함하여 표현한다(Choi, 2009). 본 연구에서 분재의 FD 값은 심신이완 효과성 증명에 직접적인 변수로 실험에 적용할 분재의 선택 기준이 된다. FD 산출은 목적에 따라 유클리드 차원과 위상적차원(Mandelbrot, 1983), 박스차원과 하우스도르프차원(Wang, 2018), 민코프스키차원(Törnblom, 2020) 등이 있으며 본 연구에서는 FD 산출에 가장 많이 사용되는 Box-Counting(Choi, 2009)방식을 적용하였다.

2. 분재의 선별

분재는 침엽수류, 활엽수류, 화목류, 과목류 그리고 초화류 등이 있다. 본 연구에서는 프랙털형상이 가장 잘 드러나 보이는 침엽수류 20 그루의 FD를 BC방식(Choi, 2009; Bouda et al., 2016)을 활용하여 산출하였다(Table 2). 프랙털 산출 및 실험의 동질성을 위하여 수고(height)가 약 250 mm 내외인 분재를 선별하였으며 이들의 FD 범위는 1.38~1.54였다

(평균 1.45, 표준편차 0.04)(Figure 1).

프랙털차원 산출을 위한 분재의 사진 촬영 방향을 분재화기에 표기하였으며 연구대상자에게 분재의 관망 방향을 화기에 표기한 부분이 일치되도록 하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 프랙털특성을 갖는 분재를 활용하여 직장인을 대상으로 심신이완의 효과를 측정하는 것으로, 프랙털차원에 따른 효과성 및 호감도 측정을 다른 선행연구에 보고된 1.3~1.6 범위의 FD를 갖는 분재를 선별하였고, 실험을 목적으로 해당 범위 외의 분재를 추가로 선별하여 실험의 비교데이터로 활용하였다. 즉, 프랙털차원이 최적 FD(1.3~1.6)인 분재와 최적 범위 외(FD:≤1.3, ≥1.6)인 분재를 구분하고, 각각 피험자에게 5분씩 관망하도록 하였다. 피험자는 두 그룹으로 나누어 1차 실험은 최적 FD와 그 외의 분재를 각각 실험군1과 2에게 노출시켰으며, 2차 실험은 Gross오류를 최소화하고 데이터의 신뢰성 확보를 위하여 그룹 간 교차 실험하였다. 즉, 최적 FD와 그 외의 분재를 각각 실험군 2와 1에게 상호교차 적용하여 5분간 관망하도록 하였으며, 각각 실험 전후 뇌전도(EEG, Electro Encephalography) 측정 및 분석, 통계를 통하여 효과성을 검증하였다(Figure 2).

1) 분재의 프랙털차원 산출

프랙털패턴의 조밀한 곡선은 FD로 계산 가능하며, 1.0에서 2.0사이의 값을 가진다. 프랙털패턴의 FD가 1.5내외의 장면을 보았을 때, 심신이완 효과가 있으며(Taylor, 2006), Salingaros(2012)는 인체의 FD가 1.5내외 이므로 외부 FD 조건과 일치될 때 공명이 발생하여 심리적 또는 생리적 안정이 오는 것이라고 보았다.

FD 산출 방법은 목적과 대상물에 따라 각기 다른 방법이 있으며 2차원 이미지 또는 조밀한 곡선에 대한 FD 계산은 주로 박스세기(Box Counting, 이하 BC)방식을 사용한다(Choi, 2009; Bouda et al., 2016; Wang, 2018). BC방식의

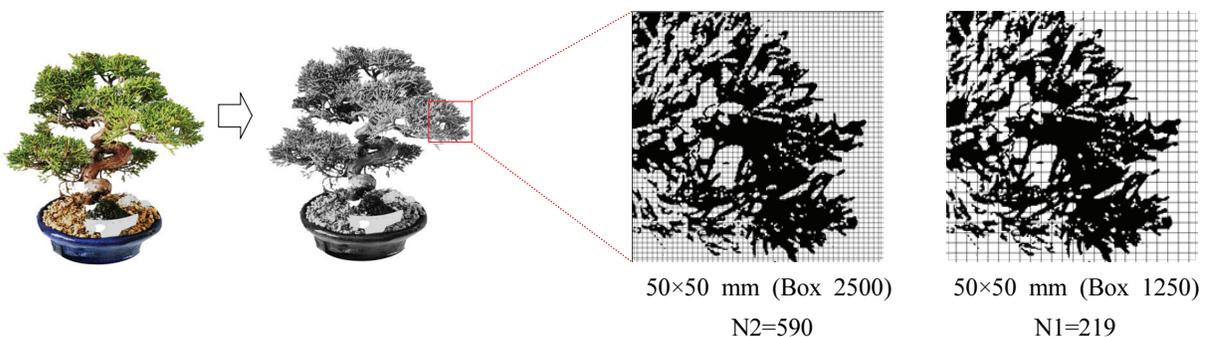
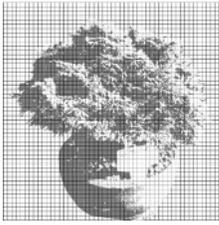
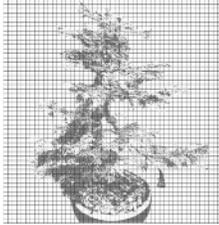
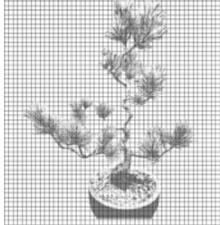
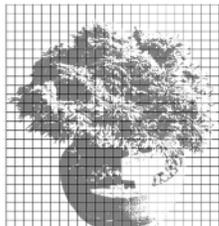
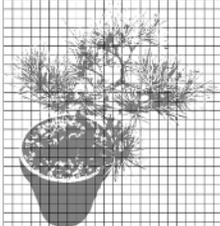
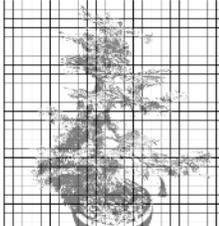
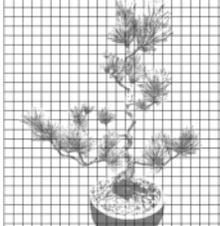


Figure 1. Calculate Bonsai by Box counting.

Table 1. Fractal dimension and dimension range of the bonsai.

Range of the Fractal Dimension	FD: 1.0 1.3 1.6 2.0			
	↓	↓	↓	↓
$FD = \frac{\log(\frac{m}{n})}{\log 2}$	FD = 1.12 <i>m</i> : 419 <i>n</i> : 193	FD = 1.49 <i>m</i> : 356 <i>n</i> : 127	FD = 1.53 <i>m</i> : 342 <i>n</i> : 118	FD = 1.75 <i>m</i> : 445 <i>n</i> : 132
Grid: 5 mm Box: 50×50 Scale: 25×25 cm variable: <i>m</i>				
Grid: 10mm Box: 25×25 Scale: 25×25 cm variable: <i>n</i>				
Binarization				
Original				

* FD is calculated using the Box-Counting method. The grid size is determined and the number of lines passing through the grid (*n*) and the number of lines passing through the grid when the grid is halved (*m*) are calculated(Choi, 2009).

Table 2. 20 selected bonsai based on FD (1.3~1.6).

20 selected Bonsai																			
1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th	13 th	14 th	15 th	16 th	17 th	18 th	19 th	20 th
1.42	1.38	1.46	1.44	1.47	1.45	1.40	1.47	1.44	1.50	1.46	1.41	1.39	1.47	1.46	1.46	1.47	1.38	1.54	1.51

Average: 1.45 SD: 0.04

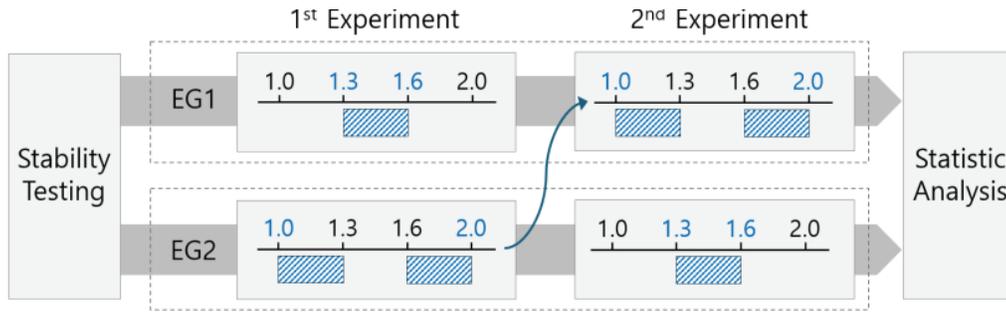


Figure 2. Verification of relaxation effect of fractal dimension-based Bonsai.

원리는 모눈종이 위에 프랙털곡선을 배치한 후 곡선이 통과하는 모눈의 수(N1)와 모눈의 해상도를 두 배 늘렸을 때(모눈의 크기는 50%) 프랙털패턴이 통과하는 모눈의 수(N2)를 센 후 N1과 N2를 연산하여 FD를 산출한다.

계산 방법은 다음과 같다. 우선, 분재 사진 촬영 시 실물 크기의 모눈 작업을 고려하여 실척 (1:1, 50×50 mm)으로 촬영하여 그레이 스케일(Grey Scale)로 변경한다(그림 3-1). 용이한 모눈 세기 작업을 위하여 대비(Contrast)를 조절한다. 25×25개의 모눈(모눈 하나의 크기: 2×2 mm)에 중첩된 곡선의 수를 센다(N1). 50×50개의 모눈(모눈 하나의 크기: 1×1 mm)에 중첩된 곡선의 수를 센다(N2).

차원 계산은 d 차원의 물체는 1/r의 크기의 물체가 r^d개로 구성된 것이므로 예컨대 3^(d)차원의 정육면체는 1/2(r)크기의 물체가 2^{3(d)}개로 구성되어 있음을 의미한다. 즉 3차원의 상자 수는 8 (2³)개이다. 즉 1/r 크기의 물체 n 개로 구성한다면 다음과 같이 정리된다.

$$n = r^d \quad \log n = d \log r \quad d = \frac{\log n}{\log r} \quad (1)$$

2³ 인 3차원을 예로 들면 $d = \frac{\log 8}{\log 2} = \log_2 8 = 3$ 이므로 ‘3차원’이 된다.

이때, 프랙털과 같은 불규칙한 곡선의 차원을 구하려면 곡선의 비율을 차원(d)으로 치환하여 계산한다. 상자세기 방식은 모눈 위에 곡선을 그렸을 때 곡선이 경유하는 모눈의 수를 세는 방식으로 2배(log2) 차이나는 모눈종이를 준비하고 측정하고자 하는 곡선을 그렸을 때, 상자 수의 비율은 차원을 의미한다(Choi, 2009). 즉, 1 mm 와 2 mm 모눈종이를 준비하고, 분재의 사진을 중첩시킨다. 채워지는 모눈의 수를 각각 N2, N1 일 때, N2 / N1을 곡선의 비율이라 한다.

$$FD(d) = \frac{\log(\frac{N2}{N1})}{\log 2} \quad FD(d) = \frac{\log(\frac{590}{219})}{\log 2} = 1.31 \quad (2)$$

이러한 방식으로 준비된 모눈(Box Grid)을 통하여 변수 m 과 n을 추출하여 계산하였다(See Table 1).

2) 분재의 심신이완 효과성 증명

분재의 관망을 통한 심리적 영향 분석은 EEG를 활용하여 측정하였다. EEG는 두뇌를 구성하는 신경세포들의 전기적 활동을 두피에서 전극을 통해 간접적으로 측정할 수 있는 도구로 두피에 부착한 전극을 통해 측정한다. 본 연구에 적용한 EEG는 헤드밴드 형태로서 경두개 영역의 Fp1, Fp2 두 곳의 전위 측정만으로 정밀도 높은 측정 결과를 얻을 수 있다.

Flowtime의 헤드밴드형 EEG는 Barakat et al.(2022)의 사용자 중심 디자인에 대한 통합적 접근에 관한 논문에서 가상 현실에서의 뇌파가 디자인 감성에 끼치는 영향을 연구하는데 활용된 바 있다(Figure 3). 본 연구에 적용하는 헤드밴드형 EEG는 다양한 뇌파(알파A, 베타B, 세타θ, 델타Δ, 감마Γ)의 비율을 퍼센트(%)로 출력된다. 여기서 비율이란 전체 뇌파의 전력밀도 대비 알파파가 차지하는 밀도로써 다음의 전력밀도 산출식에 의하여 결정된다.

$$\frac{A \text{ power}}{(A + B + \theta + \Delta + \Gamma) \text{ power}} * 100 \quad (3)$$

일반적으로 뇌파의 분석을 위하여 FFT (Fast Fourier Transform) 변환 후 세부적으로 진폭과 전력 밀도를 계산한다. 의료적 목적에서는 각 뇌파의 진폭은 매우 중요한 수치로 활용되고 있으나 본 연구에서는 뇌파의 전체 밀도 대비 알파파의 비(%)를 분석용 단위로 사용하였다.

심리적 지표를 알파파의 변화를 인용한 사례에 있어서 Pavlenko et al.(2009)은 불안심리와 알파파의 상관성 분석을 통하여 알파파와 정서적 안정간의 상관성을 근거로 근거를 제시한 바 있으며 Figueira et al.(2020)은 감정적 자극이 알파파에 미치는 영향을 보여주었으며 Ksenia and Sergey(2024)는 알파파의 신경망 기반의 분석으로 의식 상태를 평가하는 방법을 제시함으로써 심리적 안정과 알파파의 연결고리를 제시하였다.

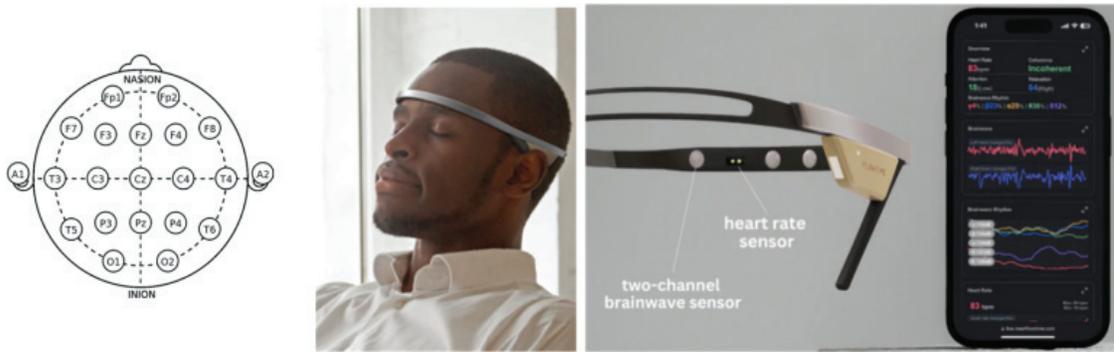


Figure 3. EEG electrode placement and 2 Electrode EEG with application (Flowtime).

4. 실험

1) 실험설계

본 연구에서는 G*power program의 무료버전 3.1.9.7을 사용하여 최적의 대상 수를 산출하였다. 본 연구의 목표 검정력은 유의수준 0.05로 설정하였으며 대응표본 t-test로 설정한 결과, 최적 표본 수가 15명으로 산정되었다. 이에 탈락률을 고려하여 18명으로 산정하였다(탈락율 20% 산정).

피험자 18명 전원에게 프랙털분재 적용 전·후와 그 외 분재 적용 전·후를 순차 적용하는 과정에서 발생할 수 있는 Gross error를 최소화하기 위하여 피험자를 9명씩 나누고 프랙털 분재와 그 외 분재를 각각 동시 제공하여 전·후 뇌파 검측을 하고 분재를 교차 제공하여 전·후 뇌파 검측을 하였

다. 피험자는 본 실험에 관한 사전 지식이 없는 스트레스 직군에 포함되는 연구직 근로자를 대상으로 선정하였다. 또한 동일한 스트레스 환경 조건이 요구되므로 한 회사의 기술연구소에 근무하는 연구원으로 선정하였으며, 자발적 참여 의사를 밝힌 서면 동의자로서 신경외과적조건이 정상인 경우로 하였다. 인구통계학적 범위는 남녀 비율은 약 50% 유지 및 40세 전후로 구분하였다(See Table 3).

인간 대상 연구에 대한 윤리적 고려사항에 있어서 첫 째, 실험의 목적, 절차, 예상되는 이익과 위험, 개인정보 처리 방식 등을 충분히 이해한 후 언제든지 철회할 수 있음을 명시한 자발적 동의서를 받았으며 둘째, 뇌파 결과에 대한 익명화 처리를 통해 개인 식별이 불가능하도록 하였으며 수집된 데이터는 연구 목적 외에는 사용하지 않으며, 안전하게 저장하

Table 3. Demographic characteristics of the study subjects.

Item		EG1	EG2	Total	exp.	χ^2	p value
Gender	mail	5 (0.63) ^z	3 (0.37)	8 (1.00)	9	0.22	0.63 ^{NS}
	female	4 (0.60)	6 (0.40)	10 (1.00)	9		
Age	36 ~ 40	3 (0.17)	7 (0.39)	10 (0.56)	9	0.22	0.63 ^{NS}
	41 ~ 45	6 (0.33)	2 (0.11)	8 (0.44)	9		
Educational Status	Ph.D.	1 (0.06)	1 (0.06)	2 (0.11)	1	1.08	0.58 ^{NS}
	Master	4 (0.22)	2 (0.11)	6 (0.33)	6		
	Bachelor	4 (0.22)	7 (0.39)	11 (0.61)	12		
Marital Status	Married	7 (0.39)	6 (0.33)	13 (0.72)	14	0.07	0.78 ^{NS}
	Unmarried	2 (0.11)	3 (0.17)	5 (0.28)	5		
Religious Status	Buddhist	5 (0.28)	3 (0.17)	8 (0.44)	8	0.62	0.73 ^{NS}
	Christian	3 (0.17)	4 (0.22)	7 (0.39)	8		
	Others	1 (0.06)	2 (0.11)	3 (0.17)	2		
Personal Distress Method	Smoking	2 (0.11)	1 (0.06)	3 (0.17)	3	3.00	0.39 ^{NS}
	Drinking	2 (0.11)	3 (0.17)	5 (0.28)	3		
	Exercise	5 (0.28)	3 (0.17)	8 (0.44)	6		
	Others	0 (0.00)	2 (0.11)	2 (0.11)	4		

EG1, 2: Experiment Group 1 and 2

exp. Expected probability of subject characteristics

^zFrequency (%), ^{NS}Non-significant at $P < 0.05$ by Chi-square test.

고 접근 권한을 제한한다는 내용으로 개인정보 보호 및 비밀 보장 사항을 제공하였다. 셋 째, 위험 최소화 및 안전 확보에 있어서 실험 중 불편이나 이상 반응이 발생할 경우 즉시 중단할 수 있는 절차를 제공하였으며 넷 째, 연구 시작 전, 건국대학교 생명윤리심의위원회 IRB 심의를 득하여 진행하였다(7001355-2024 07-HR-820). 또한 다섯 째, 피험자 권리 보장에 있어서 피험자는 중도에 철회할 권리가 있음을 고지하였으며 여섯 째, 연구의 목적과 함께 정당성과 사회적 가치에 대하여 충분히 설명 후 진행하였다.

2) 실험 및 검증

실험군 1과 2는 각 9명으로 구성되며 1명씩 분재를 관망하며, 관망 전·후 뇌전도 측정을 하였다. 단, 뇌전도의 특성상 피험자의 뇌파 안정성 확보가 필요하므로 실험 시작 전에 안정성 검정을 실시하였다. 안정성 검정을 위한 뇌전도 측정을 수행한 후, 20분 후에 다시 측정하였다. 이후 두 결과를 F검정하여 안정성을 비교한다. 처음 측정한 값과 20분 휴식 후 측정한 값을 비교하여 F비가 F기각치보다 작으면 실험에 무리가 없는 것으로 보고 실험에 착수 하였다. 만일 F비가 F기각치보다 크면 해당 피험자를 제외하였다.

3) 평가도구

측정된 결과의 분석은 SPSS 22.0을 활용하였다. 본 연구에서는 Flowtime의 2전극용 EEG를 사용하였다. EEG는 뇌 전류 측정을 위한 전극(Electrode)의 수에 따라 정밀도가 구분되는데 최근에는 사용이 간편한 2 전극용 EEG가 출시되어 활용도가 높다. 적용하는 EEG는 Fp1과 Fp2 지점의 전극으로 뇌파 전반을 측정한다. 일반적으로 뇌파의 분석을 위하여 FFT (Fast Fourier Transform) 변환 후 세부적으로 진폭과 전력 밀도를 계산한다. 의리적 목적에서는 각 뇌파의 진폭은 매우 중요한 수치로 활용되고 있으나, 본 연구에서는 뇌파의 전체 밀도 대비 알파파의 비(%)를 분석용 단위로 사용하였다.

4) 분석 및 검증 방법

실험 전 그룹 간의 동질성과 뇌파의 안정성 확보를 위하여

동질성 및 안정성을 시험을 하였다. 분석은 실험 전·후 측정 한 뇌전도 값을 기준으로 그룹단위로 사전·사후 t 검정을 수행하여 p-value를 산출하고, 이를 통해 유의성을 평가하였다.

결 과

1. 동질성 및 안정성 검증

그룹 간의 동질성 검증을 위하여 사전 측정한 뇌전도 EEG 결과를 이용하여 F검정을 한 결과 실험군 1과 2 모두 F비가 F기각치 이하이므로 동질하다고 판단되었다(See Table 3). 각 그룹 간의 안정성에 있어서 실험군 1(EG1, Experiment Group1)의 F비는 1.38이며 F기각치는 3.43이었고, 실험군 2(EG2, Experiment Group2)의 F비는 1.46이며 F기각치는 3.43으로 두 실험 군 모두 F기각치 이하이므로 탈락자 없이 18명 전원을 대상으로 실험이 진행되었다(Table 4).

2. 효과성 검증

실험 전·후 EEG를 이용하여 뇌파를 측정한 결과를 실험군 1과 실험군 2로 구분하여 정리하였다. 데이터는 Flowtime의 Headband에서 출력되는 알파파 비율의 수치로서 단위는 %이다. 실험군 1과 실험군 2, 모두 뇌전도 데이터를 기반으로 사전·사후로 구분하고 t검정을 실시하였다. 1차와 2차로 진행된 실험에서 1차 실험은 실험군 1(EG1)이 최적 FD 범위의 분재를 관망하였고, 실험군 2(EG2)는 최적 FD외의 범위 분재를 관망하였다. 분석 결과, 실험군 1은 유의미(p=0.01*)하였고, 실험군 2는 통계적으로는 유의미하지 않았으나(p=0.08^{NS}) 수치상으로는 향상되었다. 즉 최적FD범위 외의 분재들도 통계적으로는 유의미하지 않았지만 수치상으로는 다소 향상 되었다(See Table 5; Figure 4).

2차 실험은 1차 실험과 반대로 적용하였다. 실험군 1은 최적 FD 범위 외의 분재를 관망하였으며, 실험군 2는 최적 FD 범위의 분재를 관망하였다. 실험 결과 최적 FD 범위 외의 분재를 관망한 실험군1 (EG1)은 통계적으로는 유의미하지 않았으나(p=0.08^{NS}) 수치상으로는 향상되었으며, 최적 FD 범위의 분재를 관망한 실험군2 (EG2)는 매우 유의미하였다(p=0.003**)(See Table 6; Figure 5).

Table 4. EEG, Stability Verification (Two times, 20 min. Term).

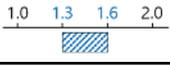
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	AVR.±SD	F Reject	F ratio
EG1	1 st	24	26	25	26	26	25	24	25	26	25.2±0.79	3.43	1.38
	2 nd	24	26	25	25	26	26	25	25	26	25.3±0.67		
EG2	1 st	25	26	26	25	23	25	26	28	27	25.7±1.33	3.43	1.46
	2 nd	26	26	26	25	24	25	26	28	27	25.9±1.10		

Table 5. EEG, 1st Experiment.

FD range		1	2	3	4	5	6	7	8	9	AVR.±SD	p-value
	Pre	24	26	25	25	26	26	25	25	26	25.3±0.67	0.01*
	Post	25	26	26	26	27	27	26	26	29	26.2±0.63	
	Pre	26	26	26	25	24	25	26	28	27	25.9±1.10	0.08 ^{NS}
	Post	27	27	26	26	26	27	26	28	28	26.8±0.79	

NS: Non Significant *: $p < 0.05$

Table 6. EEG, 2nd Experiment.

FD range		1	2	3	4	5	6	7	8	9	AVR.±SD	p-value
	Pre	25	26	25	26	25	26	25	25	27	25.6±0.68	0.08 ^{NS}
	Post	25	27	26	26	26	26	26	26	28	26.2±0.79	
	Pre	25	25	26	25	26	25	26	27	26	25.7±0.67	0.003**
	Post	26	28	27	27	26	26	27	28	27	26.9±0.74	

NS: Non Significant *: $p < 0.05$

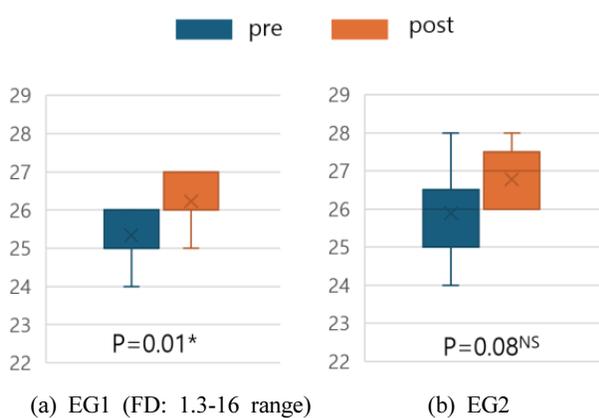


Figure 4. 1st Experimental groups 1 and 2.

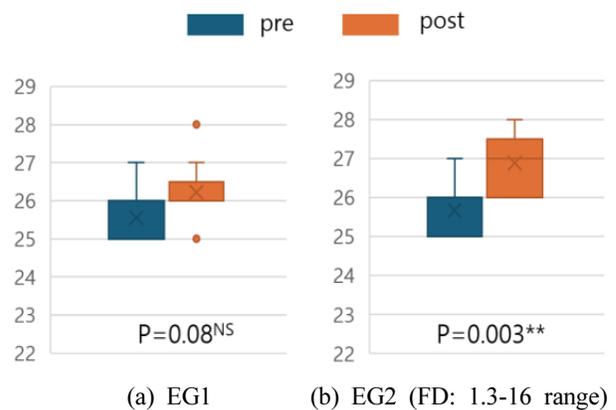


Figure 5. 2nd Experimental groups 1 and 2.

고찰 및 결론

본 연구에서는 분재의 관망을 통한 효과를 검증하기 위하여 알파파 평가를 진행하였다. 산림자원의 하나인 분재는 여느 화분식물과 달리 시간과 공간 및 환경이 농축되어 세월의 변천에 따른 변화, 근원과 흉고의 비율, 수고의 비율 그리고 수관의 패턴 등을 통하여 해당 분재가 겪어온 세월과 환경을 추정할 수 있을 만큼 외형적으로 함축된 정보를 내포하고 있다. 이렇듯 함축된 정보가 많은 만큼 복잡성과 조밀성 가득한 외형을 갖추고 있다. 이러한 분재의 특성이 심신안정의 인자가 될 수 있음을 증명하는 연구 결과가 있었다(Ochiai et al., 2017; Song et al., 2018; Hermann, 2021).

이러한 배경에서 심신안정을 유도하는 분재의 기전에 대한

탐구 끝에 분재가 지닌 독특한 프랙털패턴에 주목하였다. 분재를 바라보는 것만으로도 프랙털 구조를 쉽게 파악 할 수 있다. 프랙털패턴은 일부의 작은 조각이 전체와 같거나 비슷한 기하학적 패턴을 말하며, 이는 거듭제곱법칙에 의하여 자기유사성으로 증명된다(James et al., 2022). 자기유사성은 나뭇잎을 이루는 작은 조각들이 거듭제곱패턴으로, 연속성장하는 과정에서 결국 작은 조각과 같은 모양으로 성장한다는 의미이며, 그 과정에서 그려진 프랙털패턴은 나뭇잎, 나무, 인체의 폐 또는 해안선 그리고 번개의 패턴에서도 발견할 수 있다.

본 연구에서 주목한 분재의 프랙털패턴이 심신안정을 유도하는 인자가 될 수 있음을 판단하게 된 또 다른 선행연구에서는 인공적인 프랙털패턴을 바라본 것만으로도 심신안정의 지표가 되는 알파파가 증가했다는 연구 결과가 있다(Hagerhall

et al., 2015; Jeong, 2017). 시공함축성이 높은 분재에는 자연이 지닌 심신안정 인자가 존재할 가능성이 있음을 추론하였다. 이에 본 연구에서는 다양한 과학기전의 탐구 끝에 분재의 프랙털패턴을 발견하였으며 더 나아가 분재의 프랙털차원을 산출하는 방법을 고안하고 적용 하였다. 또한 실험 기획 및 실행 과정에서 프랙털이 심신안정의 인자(因子)가 될 수 있음을 확인하는 계기가 되었다.

검증에 있어서 EEG를 이용하여 뇌파를 측정하였으며 심리적 지표를 알파파의 변화를 인용한 사례(Pavlenko et al., 2010; Jessica et al., 2020; Belskaya and Lytaev, 2024)를 바탕으로 심신안정의 지표로 활용되는 알파파의 변화를 통하여 효과 검증을 하였다.

통계검정은 총 18명으로 9명씩으로 구성되어있는, 2개의 실험군 측정데이터를 기반으로 사전·사후 및 지속성으로 구분하고 효과성검증은 사전과 사후, 지속성검증은 사전과 지속으로 t 검정을 하였다.

본 연구에서는 스트레스 직군을 대상으로 분재의 프랙털특성이 심신이완에 미치는 영향에 관한 효과성을 검증하였다.

실험은 2개의 실험군으로 구분하여 진행하였으며, 1차와 2차 실험으로 나누어 두 차례 실험하였다. 1차 실험에서 실험군 1은 최적 FD 범위(1.3~1.6)의 분재를 관망했으며, 실험군 2는 최적 FD 범위 외의 분재를 관망하였다. 2차 실험은 1차와 반대 조건으로 분재를 적용하여 교차 실험하였다. 2차례 실험 모두 최적 FD 범위의 분재 관망이 유의미한 결과를 얻었다($p < 0.05$). 이는 분재의 프랙털형상에 내재된 프랙털차원과 이완 작용이 관련 있음을 의미하며, 특히 선행 연구에서 제시한 최적 FD의 범위가 본 실험결과와 일치하였다. 그리고 약간의 수치적인 차이로 최적 FD의 범위에서 벗어난 분재들의 이완효과에 있어서 통계적으로 유의미하지 않았으나, 수치적으로는 향상되었음을 확인하였다.

산림환경에서의 스트레스관리 효과를 다루고 있는 다수의 선행연구(Park et al., 2014; Lee, 2015; Shin et al., 2015; Lee et al., 2018)가 있으나, 접근성 문제의 아쉬움을 토로한 선행연구(Kim, 2012; Oh, 2023; Lee, 2023)가 있었다. 이러한 문제 극복을 위한 많은 노력들(Jeon and Shin, 2017; Kim and Shim, 2023; Kim et al., 2024)과 더불어 본 연구 결과로 얻어진 분재의 활용 또한 산림환경의 접근성 문제의 극복 방안이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

본 연구에서는 분재의 프랙털형상이 심신이완에 미치는 영향을 실험하기 위하여 분재의 프랙털차원 추출을 시도하여 최적 FD 범위 등으로 정리하였으며, 이를 기반으로 심신이완 효과성 검증을 시도하였다. 실험에 대한 사전 지식이 없는 스트레스 직군의 연구원을 대상으로 진행하였다. 실험 결과, 최적 FD 범위의 분재를 관망한 경우에만 통계적으로 유의미

한 수치의 심신안정 효과가 있는 것으로 나타났다. 범위 외의 분재를 관망한 경우, 유의미하지는 않지만 수치적으로는 모두 향상되었다. 이러한 연구 결과는 분재의 관망이 심신이완에 효과적이었다는 선행연구와 일치하였다(Ochiai et al., 2017; Song et al., 2018; Hermann, 2021).

대한민국은 급격한 산업의 발전 이면에 OECD 국가 중 자살률 상위권이라는 불명예를 겪고 있다. 주요 자살 원인은 스트레스와 우울증이 손꼽히고 있으며 이로 인한 사회적 비용은 점차 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 배경에서 스트레스 관리는 사회의 이슈가 되고 있으며 다양한 방법이 제시되고 있으나 직장인의 스트레스 지수는 날로 증가하고 있다. 이에 자연환경의 노출이 가장 큰 해법으로 제시되고 있는데 바쁜 현대인의 관점에서 산림환경, 자연휴양림 등의 접근성이 떨어진다는 보고가 다수 있다.

이러한 측면에서 본 연구 결과는 산림환경의 자원인 분재를 통하여 실내 또는 사무공간에서의 심신이완 유도 가능성을 보여준 좋은 사례로 여겨진다. 분재는 공간적 제약이 없는 장점이 있어 본 연구 결과가 생활에 적용된다면 개인의 정서 활동은 물론 국가 경쟁력 향상에도 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 분재의 프랙털패턴에 집중하기 위하여 수십 개의 분재를 대상으로 FD 산출을 통한 선별작업이 진행되었다. 그리고 특정 분재를 실험에 적용하였다. 성공적인 실험결과 이면에 준비과정에서 거둬졌던 실패를 통하여 얻은 것은 프랙털에 대한 이론과 실무였다.

이에 본 연구 결과를 기반으로 다음과 같은 프로그램을 제안하고자 한다. ①스트레스 군에 속하는 직장인의 심신이완을 위한 프랙털 기반의 다양한 프로그램의 확장 ②사무실 등 실내 환경에서의 프랙털을 고려한 분재 인테리어 재고 및 사무가구 배치 등을 통한 직무 환경 개선 등이다.

본 연구의 한계는 스트레스 직군 중에 연구직을 대상자로 선정하였다는 것이다. 본 연구는 가설이 검증되었지만 ① 보다 다양한 직군에게 적용 실험이 필요하다라는 점, ② 분재의 다양한 종류가 각각 효과에 미치는 영향을 고려하지 못했다는 점, ③ 계절에 따른 분재의 변화가 효과에 미치는 영향을 고려하지 못했다는 점 등에서 한계가 있다. 한편, 연구 준비 과정에서 활엽수의 나목(裸木)분재에서도 최적 영역의 FD가 산출됨을 확인하였다.

이번 연구는 분재를 통하여 작은 숲을 실내로 옮겨온 맥락에서 분재가 스트레스 관리와 심신안정에 효과적임을 과학적으로 입증한 사례이며 직장·의료·교육·가정·국가 정책까지 폭넓은 확장이 기대된다. 적용 및 활용에 있어서 보다 구체적으로는 ① 직장 및 사무환경, 스트레스 직군(특히 연구직, 사무직, IT 등)에서 분재를 활용한 심신안정 프로그램 도

입 가능성, ② 사무실 인테리어에 최적 FD 범위의 분재를 배치하여 업무 효율성과 집중력 향상 기대, ③ 의료·심리치료 분야, 정신건강 클리닉, 상담센터, 병원 대기실 등에서 분재 관망을 통한 심리적 안정 유도 및 스트레스·우울증 환자의 보조적 치료 수단, ④ 교육 환경에 있어서 학교, 연구실, 도서관 등 집중과 안정이 필요한 공간에서 분재를 활용한 학습 환경 개선을 기대할 수 있으며 ⑤ 주거 공간에서는 가정 내 인테리어 요소로 분재를 배치하여 생활 속 스트레스 완화, ⑥ 도시 생활에서의 자연 접근성이 떨어지는 문제를 보완, ⑦ 산업·국가 차원에서 기업의 직원 복지 프로그램, 공공기관의 스트레스 관리 정책에 적용 및 국가적 정신건강 증진에 따른 사회적 비용 절감을 기대할 수 있다.

본 연구의 학술적인 의미로는 분재의 프랙털 패턴과 인간 심리·생리 반응의 연결이라는 새로운 논의 축을 열었고, 자연환경 노출과 심신안정이라는 단순한 인과관계 논의를 넘어, 프랙털 패턴이라는 과학적 기전을 중심으로 학술적 논의 확장을 기대할 수 있으며 후속 연구는 직군·환경·계절·디지털 확장 등 다양한 적용 영역에서의 실험 확장이 가능하다.

학술적 연계에 있어서 본 연구의 결과는 ① 환경심리학, 신경과학, 조경학, 디자인학 등 다양한 학문 분야에서 교차 논의가 가능, ② 숲·산림 환경 접근성 문제를 해결하기 위한 “실내 자연 대체제” 논의에 기여, ③ 스트레스 관리 및 정신건강 연구의 새로운 접근 그리고 ④ 기존의 약물·상담 중심의 대중적 접근에서 벗어나, 시각적·환경적 요인을 통한 심신안정을 위한 원리적 연구의 확장, ⑤ 특히 국가 경쟁력 확보 측면에서 직장인의 정신건강 관리 논의에 관한 새로운 학술적 논의가 가능하다고 본다.

이러한 측면에서 앞서 제시된 적용영역(직장·의료·교육·주거·정책)과 연계, 후속 연구는 ① 다양한 직군(연구직 외, IT·서비스·제조업 등)을 대상으로 분재 관망 효과 비교 연구 및 사무실 내 분재 배치 방식(개인 책상 vs 공용 공간)에 따른 효과 차이 검증, ② 의료·심리치료 분야에서 스트레스·우울증 환자를 대상으로 분재 관망과 알파파 변화의 임상적 연구, ③ 교육 환경 분야에서 학생들의 집중력·창의성에 분재 프랙털 패턴이 미치는 영향 검증, ④ 주거 공간에 있어서 가정 내 분재 배치 위치(거실, 침실, 작업실)에 따른 심신안정 효과 비교 및 가족 구성원별(성인, 청소년, 노인) 또는 생애주기에 따른 반응 차이 연구 그리고 ⑤ 산업·국가 정책 측면에서 기업 복지 프로그램에 분재 활용 시 생산성·직무만족도 변화 연구, 도시 환경 개선 프로젝트에서 분재를 활용한 디자인 효과 검증 등의 후속 연구가 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건국대학교 생명윤리심의위원회의 심의를 득하여 진행되었음(7001355-2024 07-HR-820)

이 성과는 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지속가능 제품설계 지식기반 환경서비스 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- Ahn, J.A. 2024. The Mediating Effects of Depression in the Effects of Stress in University Students on Smartphone Addiction Tendencies. *Journal of the Korea Contents Association* 24(11): 768-775.
- Barakat, A., Ayad, H. and El-Sayad, Z.E.Y.A.D. 2022. An Integrated Approach to User-Centered Design: Mobile Brain/Heart Imaging In Virtual Reality. 201-214. 10.2495/ARC220171. DOI:10.2495/ARC220171
- Beil, K. and Hanes, D. 2013. The influence of urban natural and built environments on physiological and psychological measures of stress: a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Mar 26;10(4): 1250-67. DOI: 10.3390/ijerph10041250. PMID: 23531491; PMCID: PMC3709315
- Beute, F. and de Kort, Y.A.W. 2014. Natural resistance: Exposure to nature and self-regulation, mood, and physiology after ego-depletion, *Journal of Environmental Psychology* 40: 167-178.
- Bouda, M., Caplan, J.S. and Saiers, J.E. 2016. Box-Counting Dimension Revisited: Presenting an Efficient Method of Minimizing Quantization Error and an Assessment of the Self-Similarity of Structural Root Systems. *Frontiers in plant Science* 7: 149.
- Bratman, G., Olvera-Alvarez, H. and Gross, J.. 2021. The affective benefits of nature exposure. *Social and Personality Psychology Compass* 15. <https://doi.org/10.1111/spc3.12630>
- Choi, Y.S. 2009. Fractal in Highschool Mathematics. (dissertation) Master's Thesis, Joongang University.
- Figueira, J.S.B., David, I.D.P.A., Lobo, I., Pacheco, L.B., Pereira, M.G., de Oliveira, L. and Keil, A. 2020. Effects of Load and Emotional State on EEG Alpha-Band Power and Inter-Site Synchrony. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 20: 1122-1132.
- Goldberger, A.L., Rigney, D.R. and West, B.J. 1990. Chaos and fractals in human physiology. *Scientific American* 262(0): 42-9.

- Hagerhall, C.M., Laike, T., Küller, M., Marcheschi, E., Boydston, C.R. and Taylor, R.P. 2015. Human physiological benefits of viewing nature: EEG responses to exact and statistical fractal patterns. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences* 19(1): 1-12.
- Hermann, C. 2021. Bonsai as a group art therapy intervention among traumatized youth in KwaZulu-Natal. *Psych Journal* 10(0): 177-186 DOI: 10.1002/pchj.440
- James H. Brown, Vijay K. Gupta, Bai-Lian Li1, Bruce T. Milne Carla Restrepo and Geoffrey B.W 2022. The fractal nature of nature: power laws, ecological complexity and biodiversity. *Philosophical Transactions B* 357(0): 619-626.
- Jeon, J.Y. 2017. The Effects of Direct and Indirect Forest Experience on Human Psychology and Physiology [Doctoral Dissertation, Chungbuk University].
- Jeon, J.Y. and Shin, C.S. 2017. Effects of Indirect Forest Experience on Human Psychology. *Korean Society of Environment and Ecology* 31(4): 420-427. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.M. 2024. A Study on Emotional Labor, Job Stress, and Depression of Sales Representatives in Domestic Pharmaceutical Companies. (doctoral dissertation) Daegu Haany University
- Jeong, Y.J. 2017. A study of a model of stress relaxation structure based on Savanna's visual sensibility. (dissertation) Master's Thesis, Hongik University
- Jo, M.N., Shin, C.S., Yeoun, P.S. and Kim, J.Y. 2015. The Effects of the Forest Healing Program according to job-stress, fatigue, mood state of the elementary school teachers. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation*, Jeju.
- Kaplan, R. and Kaplan, S. 1989. *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-34139-4.
- Kim, H.Y., Lee, S.H., Kim, G.S. and Shin, K.D. 2012. Stress Society Korea. Gyeonggi Research Institute.
- Kim, I.D. and Shim W.S. 2023. Analysis of the Healing Effect of Visual Forest Stimulation in Digital environment. *Korean Society of Environment and Ecology* 37(6): 473-483. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.M 2012. Study on the effect of forest therapy according to types of recreational forest. (Doctoral dissertation) Chungbuk University.
- Kim, S.H. Myung, J.W. Park, Y.B. and Kim, S.J. 2024. Implementing a Virtual Reality Forest Healing System Using Multisensory Modules. *Journal of the Korea Computer Graphics Society* 30(4): 31-39. (in Korean with English abstract)
- Ksenia, B. and Sergey, L. 2024. Neural Network Dynamic Centers of EEG Alpha Rhythm for Objective Assessment of Consciousness. - *Lecture Notes in Computer Science*, Springer (2024, IWBBIO Conference)
- Lee, J.W., Yeon, P.S., Park, S.H. and Kang, J.W. 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(3): 15-22. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.M. 2023. Development and effectiveness verification of forest therapy program for cancer patients. [Doctoral dissertation] Chungbuk University (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H. 2015. The Influence of Forest Healing Program on StressHigh Risk Group's Job Stress, Depression, Mood States, Self-esteem, and HRV. (Master's Thesis) Chungbuk University.
- Li, Q. et al. 2008. Visiting a forest, but not a city, increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. *International Journal Immunopathol Pharmacol*. 2008 Jan-Mar; 21(1): 117-27. doi: 10.1177/039463200802100113. PMID: 18336737.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The fractal geometry of nature*, W. H. Freeman and Comp, New York, edition: 3, ISBN: 9780716711865
- Ochiai, H., Song, C., Ikei, H., Imai, M., and Miyazaki, Y. 2017. Effects of Visual Stimulation with Bonsai Trees on Adult Male Patients with Spinal Cord Injury. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14.
- Oh, C.H. 2023. A Study on the Effectiveness of the Development and Application of Forest therapy Program to Alleviate of Alcohol Dependence. (dissertation) [Master's Thesis]. Gangwon University.
- Pariat, L., Rynjah, A., Joplin, M., and Kharjana, M.G. 2014. Stress Levels of College Students: Interrelationship between Stressors and Coping Strategies. *IOSR Journal of Humanities and Social Science* 2014(19): 40-45.
- Park, H.S., Shin, C.S., Yeoun, P.S., and Kim, J.Y. 2014. A Comparative Study on the Stress Recovery Effect of Forest Therapy. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 18(1): 13-24. (in Korean with English abstract)
- Pavlenko, V.B., Chernyi, S.V. and Goubkina, D.G. 2009. EEG Correlates of Anxiety and Emotional Stability in Adult Healthy Subjects. *Neirofiziologiya/Neurophysiology* 41(5): 400-408.

- Roe, J.J., Thompson, C.W., Aspinall, P.A., Brewer, M.J., Duff, E.I., Miller, D., Mitchell, R. and Clow, A. 2013. Green space and stress: evidence from cortisol measures in deprived urban communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2;10(9): 4086-103. doi: 10.3390/ijerph10094086. PMID: 24002726; PMCID: PMC3799530.
- Salingaros N. 2012. Fractal Art and Architecture Reduce Physiological Stress, *Journal of Biourbanism II* (2): 11-28.
- Seo, J.O. 2024. The moderating effect of social support in the relationship between stress coping styles and depression among young adults in Gyeonggi province.(dissertation) Master's Thesis, Joongang University.
- Shin, C.S., Yeoun, P.S., Kim, Y.G., Eum, J.O., Yim, Y.R., Yoon, S.B., Park, S.H., Kim, I.O., and Lee, S.H. 2015. The Influence of a Forest Healing Program on Public Servants in Charge of Social Welfare and Mental Health Care Workers's Job Stress and the Profile of Mood States (POMS). *Journal of Korea Society of Forest Science* 104(2): 294-299. (in Korean with English abstract)
- Simion, M. 2016. Fractal Images – A New Way to Reduce Stress and To Improve Educational Workspaces. *Global Journal of Psychology Research New Trends and Issues* 6(1): 20.
- Song, C., Ikei, H., Nara, M., Takayama, D. and Miyazaki, Y. 2018. Physiological Effects of Viewing Bonsai in Elderly Patients Undergoing Rehabilitation. *International Journal Environment Research Public Health* 15(12): 2635.
- Song, J.H., Cha, J.Y., Lee, C.Y., Choi, Y.S. and Yeoun, P.S. 2014. Effects of Forest Healing Program on Stress Response and Spirituality in Female Nursing College Students and there Experience. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 18(1): 109-125. (in Korean with English abstract)
- Taylor, R.P. 2006. Reduction of Physiological Stress Using Fractal Art and Architecture. *Leonardo* 39(3): 245-251.
- Törnblom, A., 2020. Measure theory, fractal geometry and their applications on digital sundials, U.U.D.M. Project Report 2020: 53, Department of mathematicsematics, Uppsala University, DiVA, id: diva2:153078
- Wang, N., 2018. Fractal Sets: Dynamical, Dimensional and Topological Properties (Dissertation), KTH, School of Engineering Sciences. 15, Stockholm Sverige 2018.
- Wise, J.A. and Rosenberg, E. 1986. The Effects of Interior Treatments on Performance Stress in Three Types of Mental Tasks. Technical Report, Space Human Factors Office, NASA-ARC, Sunnyvale, California.
- Yeom, I.K. 2024. The sequential mediating effects of perceived organizational support and depression in the relationship between job stress and turnover intention among IT industry workers. (dissertation) Master's Thesis, Hanyang University.

Manuscript Received : March 21, 2025

First Revision : October 27, 2025

Second Revision : December 1, 2025

Accepted : December 2, 2025