감성과학, Vol. 14, No. 3, pp.403-414, September 2011

프랙탈 이미지를 이용하여 본 미적 경험의 뇌 활성화 : 기능적 자기공명영상 연구*

Neural correlates of the aesthetic experience using the fractal images : an fMRI study

이승복**† · 정우현** · 손정우*** · 조성우**

Seung-bok Lee**† · Woo-Hyun Jung** · Jung-Woo Son*** · Seong-woo Jo**

충북대학교 심리학과**

Department of Psychology, Chungbuk National University**

충북대학교병원 신경정신과***

Department of Neuropsychiatry, Chungbuk National University Hospital***

Abstract

The current study examined brain regions associated with aesthetic experience to fractal images using functional MRI. The aesthetic estimations of the images showed that there is a general consensus regarding the perception of beautiful images. Out of 270 fractal images, fifty images rated highest(beautiful images) and fifty images rated lowest(non-beautiful images) were selected and presented to the participants. The two conditions were presented using the block design. Frontal lobes, cingulate gyri, and insula, the areas related to the cognitive and emotional processing in aesthetic experience, were activated when beautiful images were presented. In contrast, the middle occipital gyri and precuneus, the areas associated with experience of negative emotions, were activated when non-beautiful images were presented. The conjunction analysis showed activations in temporal areas in response to beautiful images and activations in parietal areas in response to non-beautiful images. These results indicate that beautiful images elicit semantic interpretations whereas non-beautiful images facilitate abstract processes.

Keywords : Neuroaesthetics, aesthetic experience, aesthetic judgement, fractal image, fMRI, temporal cortex, parietal cortex

요 약

본 연구에서는 객관적인 아름다움에 대한 주관적인 미적 경험으로서의 인지적, 감정적 경험에 관여하는 뇌 활성화 과정을 기능적 자기공명영상을 이용하여 검토해 보았다. 우선, 프랙탈 이미지에 대한 미적평가 행동과제로 보편적인 아름다움의 준거를 확인하였다. 평정 결과에 기초하여, 전체 270개 이미지 중 가장 점수가 높은 50개를 아름다운 이미지로, 점수가 낮은 50개를 아름답지 않은 이미지로 선정하였다. 두 가지 조건을 블록으로 제시한 신경영상 연구 결과, 아름답다고 평가한 이미지에 대해서는 미적 경험에 관여하는 인지적, 정서적 처리에 관여된 부위인 전두엽과 대상회와 뇌섬엽이 활성화되었으며, 아름답지 않다고 평가한 이미지에 대

* 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2010-371-H00008).

† 교신저자 : 이승복 (충북대학교 심리학과)

E-mail : lsbok@paran.com

TEL : 043-261-2193

FAX : 043-269-2188

해서는 부정적인 정서와 관련된 중후두회와 전설소엽의 활성화가 관찰되었다. 아름다움 평가에 대한 조건별 접속분석의 결과, 미적평가가 긍정적인 이미지에 대해서는 측두엽의 활성화가, 부정적인 이미지에 대해서는 두정엽의 활성화가 특징적으로 나타났다. 이에 대해 의미론적 해석과 추상화 과정과 연결하여 논의하였다.
주제어 : 신경미학, 미적경험, 미적평가, 프랙탈 이미지, 기능적 자기공명영상, 측두엽, 두정엽

1. 서론

아름다움은 사전적 의미로 '감각적인 기쁨을 주는 대상의 특성으로, 마음을 끌어당기는 조화(harmony)의 상태'이다(위키백과). 아름다움이란 경험을 대상에 대한 경험의 계기 속에서 여러 요인들 사이의 상호적응으로 보고, 이 상호적응 되는 요인들(대칭성, 친숙성 등)을 밝혀내고자 하는 과학적 시도가 정신물리학적 연구로 이루어져 왔다(Cunningham, Johnson, Gateby, Gore, & Banaji, 2003; Langlois & Roggman, 1990; Rhodes, Zebrowitz, Clark, Kalick, Hightower, & McKay, 2001). 최근 보편적인 아름다움에 대한 경험의 신경학적 기제에 대하여 기능적 자기공명영상(fMRI), 뇌파기록장치(EEG) 또는 뇌자도(MEG) 등을 이용한 신경미학 연구가 많은 관심을 끌고 있다. 신경미학 연구에서는 미적경험의 세부적인 요소들을 뇌 활성화를 통한 신경적 처리과정으로 분석, 비교하고 있다.

신경미학이란 Zeki(2000, 2004)가 제안한 용어로 예술에서 아름다움 지각의 신경적 기초에 대한 연구를 일컫는다. 그는 예술에 대한 접근은 시각 뇌가 작동하는 방식, 특히 항상성 탐지 능력에 관한 방식의 이해에 기초하여 이를 모형화하는 과정으로 보았다. 신경미학 연구들은 시각 예술작품에 대한 미적 경험에 뇌의 감각운동 영역, 핵심적인 감정 중추, 그리고 보상 관련 중추의 활성화가 관여한다는 것을 밝혔다. 예를 들어, Zeki와 Kawabata(2004)는 아름다운, 중립적인, 추한 그림 여러 종류(초상화, 풍경, 추상화, 정물화)를 자극으로 주고 미적 판단 과제를 시행하여, 그림 종류에 상관없이 아름다운 그림은 정서관련 중추인 안와전두엽(orbitofrontal cortex)의 활성화 증가와 운동영역(somato-motor cortex)의 활성화 감소 패턴, 추한 그림은 안와전두엽의 활성화 감소와 운동영역의 활성화 증가 패턴이 뚜렷이 나타남을 보여주었다.

또한 Vartanian과 Goel(2004)는 사건관련 fMRI 연구로 재현 미술과 추상 미술에 대한 명시적인 미적 선호를 세 가지 자극판(원판, 변형판, 여과판)으로 연구하였다. 재현 미술은 추상 미술보다 선호도가 높았으며, 원판 미술이 가장 선호도가 높았다. 제시된 미술작품의 선호도가 낮을수록 미상핵(caudate nucleus) 활성화에서의 감소가 관찰되었는데, 이는 미적 경험이 보상 속성을 갖는 자극의 처리에 관여하는 영역에도 의존한다는 사실을 시사한다. 또한 미술작품에 대한 선호도가 높아질 경우 활성화 증가를 보이는 영역에는 정서가가 다양한 자극의 보상관련 처리에 관여한다고 알려진 왼쪽 전측대상구(anterior cingulate sulcus)가 포함되었다.

심미적인 관찰을 한다는 것은 의미범주로의 자동적 점화를 극복, 통제하고 예술작품의 스타일 속성에 대한 감각 경험에 좀더 주의를 기울이는 과정이다(Cupchik, Winston, & Herz, 1992; Cupchik & Winston, 1996). 이에 관련하여 외측 전전두 피질(bilateral prefrontal cortex)은 인지적 통제와 연결되어 있다고 볼 수 있다(Burgess, Dumontheil, & Gilbert, 2007; Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Niewenhuis, 2004; Sakai & Passingham, 2003). 시각 예술에 대한 훈련이 없는 이들에게서 외측 전전두엽은 심미 지각에서 인지적, 지각적인 장치로 방향을 잡게 하는 결정적인 구조이다(Cupchik, Vartanian, Crawley, & Mikulis, 2009). 추상적인 심적 이미지의 생성에는 두정엽이 관여한다고 보고되었는데(Cavanna & Trimble, 2006; Goebel Khorram-Sefat, Muckli, Hacker, & Singer, 1998), 이는 내용을 쉽게 알아볼 수 없는 그림을 관찰하는 조건에서 전설소엽의 활성화가 심적 심상의 생성에 연결되어 있다는 최근의 연구 결과와 일치한다(Fairhall & Ishai, 2008).

Cupchik 등(2009)은 심미적 지각에서 정서 경험의 역할을 양반구 뇌섬엽(insula)의 활성화를 통해 논하였다. 작품에 대한 주관적 반응인 정서반응은 뇌의 정서회로, 특히 뇌섬엽(insula)(Critchley, Wiens, Rotshtein, Ohman, & Dolan, 2004; Critchley, 2005; Damasio, Grabowski, Bechara, Damasio, Ponto, & Parvizi, 2000)과 안와전두엽(Kringelbach & Rolls, 2004)이라는 정서경험에 관련된 구조의 활성화와 관련된다.

하지만, 화가들의 실제 미술작품을 사용한 연구들은 참가자의 선호 판단에 영향을 미치는 많은 비미학적 변인들에 영향을 받을 수밖에 없다(Van Buren, 2010). 이에 대한 대비책으로써 미술작품을 자극으로 사용한 실험에서는 작품에 관한 정보를 전혀 알지 못하고 있다고 생각되는 미술 비전공 참여자들에게 미적 정도를 판단하게 한다. 하지만 모든 참가자가 미술에 대한 경험이 전혀 없다고 볼 수는 없으므로 그들이 가지고 있는 다양한 경험 정도에 영향을 받게 된다. 자극으로 제시될 작품을 선택하는 데 있어서도, 연구자가 의도한 미적 경험의 특정 속성에 따라 작품에 포함된 다양한 변인들의 통제 여부를 확인할 수 없다. 반면에 관찰자의 주관적 판단이 개입될 수밖에 없는 실제 미술작품 보다는 실험실에서 만들어낸 자극으로 미적 판단 과정을 살펴본다면 좀 더 많은 오염변인을 통제할 수 있다. 실제 똑같은 추상화를 제시하면서 미술관에 전시된 작품이라고 알려주는 경우와 컴퓨터가 그려낸 작품이라고 하는 경우에 뇌 영역의 활성화 방식이 달라졌다는 연구도 있다(Kirk, Skov, Hulme, Christensen, & Zeki, 2009).

2. 프랙탈 이미지와 신경미학 연구

본 연구에서는 실험실에서 만들어내는 미적 경험을 불러일으키는 작품으로 프랙탈 이미지를 활용하였다. 프랙탈은 구조와 불규칙성을 동시에 가지면서 무한 반복되는, 자기-유사성(self-similarity)을 포함하고 있는 이미지이다(Mandelbrot, 1977). 우리가 접하는 자연세계에서의 새싹과 나뭇가지 모양에서 시작하여, 지도에 나타나는 지형의 해안선 모습도 프랙탈 분석이 가능하다.

프랙탈 이미지는 실제 자연 장면에서의 많은 형태들과 공통된 속성을 갖고 있다(Spehar, Clifford, Newell, & Taylor, 2003). 또한 프랙탈 이미지는 대부분의 사람들에게는 친숙한 자극이 아니기 때문에 아름다움 지각과 관련하여 친숙성의 효과를 통제할 수 있다.

본 연구에서는 프랙탈 이미지를 사용하여, 객관적인 아름다움에 대한 주관적인 경험으로서의 인지적, 감정적 경험에 관여하는 뇌 활성화 과정에 초점을 맞추어, 기능적 자기공명영상을 이용한 신경영상 연구를 시도하였다. 이를 통해 미적 판단 과제를 수행하는 동안의 뇌 활성화 영역을 살펴보고, 뇌 영역의 활성화를 분석하여 미적 경험의 여러 속성을 알아보고자 하였다.

3. 예비연구 : 프랙탈 이미지에 대한 아름다움 평정

3.1. 예비연구 개요

무선적으로 제시되는 프랙탈 이미지에 대하여 평정을 통해 참가자들이 느끼는 주관적인 아름다움의 정도를 알아보았다.

3.1. 평정 절차 및 방법

인터넷을 통하여 수집한 프랙탈 이미지 270개가 무선적으로 제시되었다. 심리학 전공강의를 수강하는 50명의 학부생이 평정에 참가하였다. 평정 참가자가 할 일은 컴퓨터 모니터 상에 제시되는 이미지들에 대해 주관적인 아름다움의 정도를 9점 척도로 평정하는 것이었다. Figure 1에 프랙탈 이미지 자극의 예와 함께 평정 절차가 제시되어 있다. 아름답게 느껴지면 9점에 가까운 점수를, 그렇지 않으면 1점에 가까운 점수를 부여하도록 지시하였다(Figure 1).

3.2. 평정 결과 및 논의

평정에 참가한 50명의 자료 중에서 잘 못 반응한(10회 이상 1~9점 범위를 벗어난) 일곱 명의 자료는 분석에서 제외되었으며 43명의 자료가 분석에 사용되었다. 분석 결과, 전체 이미지 270개에 대한 아름다움 평정치의 평균은 3.74(SD=0.81)였다. 아름다움 평정에

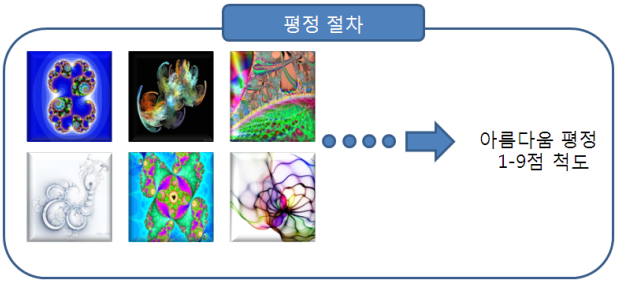


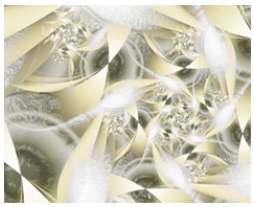
Figure 1. Aesthetic rating procedure and examples of fractal images. Rated from least(1) to most(9) beautiful (9 point scale).

서 높은 점수를 받은 상위 90개 이미지에 대한 평정치의 평균은 4.65(*SD*=0.5)였다. 중위 90개 이미지에 대한 평정치의 평균은 3.71(*SD*=0.22)이었고 하위 90개 이미지의 평정 값의 평균은 2.87(*SD*=0.30)이었다. 상위 이미지와 하위 이미지 간의 평정 점수의 차이는 통계적으로 유의하였다(t(82.31)=34.74, *SE*=0.07, p<.0001). 이 중 최상위 세 개의 이미지와 최하위 이미지 세 개를 Figure 2에 제시하였다.

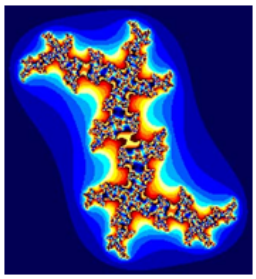
평정 결과를 보면 프랙탈 이미지에 대한 아름다움의 평가에서 개인 간의 차이가 존재하긴 하지만 상위, 중위, 하위 점수를 받은 이미지들의 평정 점수의 표준편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 곧 아름다움에 대한 평정치가 높은 자극에 대해서는 대부분의 참가자들이 아름답다고 반응하고, 아름다움에 대한 평정점수가 낮은 자극에 대해서는 대부분의 참가자들이 아름답지 않다고 반응하였다는 것을 나타낸다.

(a) The highest rated image(*M*=5.95)

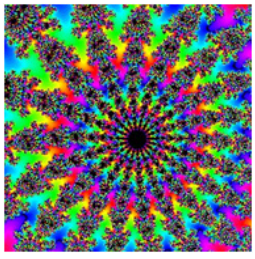
(b) The 2nd highest rated image(*M*=5.93)



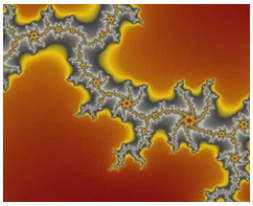
(c) The 3rd highest image(*M*=5.72)



(d) The 3rd lowest image(*M*=2.9)



(e) The 2nd lowest rated image(*M*=2.9)



(f) The lowest rated image(*M*=2.2)

Figure 2. Examples of the images. (a), (b), (c) : rated highest(beautiful images); (d), (e), (f) : rated lowest(non-beautiful images)

4. fMRI 실험 : 프랙탈 자극에 대한 미적경험에서의 뇌 활성화

4.1. 방법 및 절차

4.1.1. 실험참가자

참가자는 모두 14명이었으며(여자 7명, 남자 7명), 평균 나이는 23세(*M*=23.36(*SD*=1.74))였다. 참가자는 모두 신경정신과적 병력이 없는 신체 건강한 대학생이었다. 또한 예비연구에 참가한 경험이 없었다.

4.1.2. 자극 재료

자극은 예비연구를 통하여 제시되었던 전체 270개의 프랙탈 이미지 중 아름다움 평정 점수가 상위인 50개와 하위인 50개로써 총 100개의 이미지가 사용되었다. 상위 50개 이미지의 평균 평정점수는 5.00(*SD*=0.40)이었고, 하위 50개 이미지 평균 평점점수는 2.67(*SD*=0.25)이었다.

4.1.3. 실험 설계

실험은 블록 디자인(Block design)으로 설계되었다. 총 자극 100장을 순위별로 10장씩 한 블록으로 나누어, 총 10개의 실험 블록을 구성하였다. 자극에 대한 예비연구에서의 아름다움 평정순위가 독립변인으로 사용되었고, 뇌 활성화 정도와 아름다움 판단 결과가 종속변인으로서 측정되었다.

4.1.4. 실험 절차

절차는 크게 두 가지로 이루어졌다. 우선, 실험에 대한 지시와 함께, 컴퓨터 모니터를 보고 2700㎳ 동안 제시되는 이미지를 보고 숫자 키패드를 이용하여 9점 척도로 아름다움 평정을 하게 하였다. 자극 사이에는 시선고정점(+)이 300㎳ 동안 제시되었다. 평정 절차가 끝나고 나면, 기능적 자기공명영상(fMRI) 장치로 이동하였다. 참가자들은 기능적 자기공명영상(fMRI) 장치 내에서 제시되었던 이미지를 다시 2700㎳ 동안 제시

되는 이미지를 보고 마우스를 이용하여 아름답다고 느끼면 왼쪽 버튼을 클릭하고, 아름답지 않다고 느끼면 오른쪽 버튼을 클릭하도록 지시받았다. 마찬가지로 자극 사이에는 시선고정점(+)이 300㎳ 동안 제시되었다. 이때 자극은 헤드코일에 설치된 LCD 모니터인 IFIS(Maximum refresh rate: 60Hz, Display: 640×480, Maximum view angles: 30°)를 통해 제시되었다. 모든 과제는 E-prime 2.0 소프트웨어를 통해 구성되었으며, 참가자의 반응을 지연 없이 기록하도록 하였다. 기능적 자기공명영상(fMRI)은 10개의 실험블록이 한 번씩 의사-무선(pseudo-random) 방식으로 제시되면서, 번갈아 기저조건(baseline) 블록이 제시되는 동안 얻어졌다. 실험블록은 각 30초였고, 휴지기 블록은 각 21초였다. 따라서 참가자당 160장의 에코평면영상(EPI)을 획득하였다.

4.1.5. fMRI 획득 및 분석 방법

전체 fMRI는 한국과학기술원(KAIST)의 fMRI 센터에 설치된 3T MR 스캐너(Oxford magnet, Varian console, 국내업체 ISOL 제작)와 구적 헤드코일(Quadrature birdcage head coil)을 이용하여 참가자의 전체 뇌의 영상(whole brain coverage)을 획득하였다. 촬영 중 참가자의 머리 움직임을 최소화하기 위해 머리를 진공베개로 고정하였다.

먼저 해부학적 이미지를 촬영한 후, 과제를 수행하는 동안 기능영상으로서 에코 평면 영상(EPI)을 경사에코 효과(gradient echo sequence)로 촬영하였다(TR: 3000ms, TE: 35ms, flip angle: 80°, matrix size: 64×64, FOV: 220×220mm, 30 slices, slice thickness: 5mm no gap).

참가자로부터 얻은 뇌 영상 자료는 SPM 2(Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London) 소프트웨어를 사용하여 Park et al(2010)과 같은 방법을 이용하여 전처리(preprocessing)되었다. 이러한 전처리 과정을 거친 후에 각 개인별 자료의 각각의 조건들에 대한 차이검정(t-test)을 하였다. 분석 시 사용되는 모든 대조값(contrast)들은 혈역학반응함수(HRF)에 특성화된 디자인 매트릭스(matrix)로부터 정의되어 계산된 자극 제시간 시간간격(SOA)에 의해 결정되었다.

또한 참가자들이 각 이미지에 대해서 fMRI 촬영 전 9점 척도로 반응한 평정 점수를 회귀계수로 모수적 회귀 분석(parametric regression analysis)을 실시하였다.[1] 이미지 평정 점수와 혈역학 반응 함수(HRF)가 상관을 보이는 영역을 분석하였다.

개인의 통계 결과들은 무선 효과 모형(random effect model)을 이용하여 집단분석되었다. 본 연구에서는 한 부피소(voxel) 수준에서 uncorrected p<.01의 역치를 넘고 10개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역(cluster)을 보고하였다. 그리고 cluster 수준에서 False Discovery Rate(FDR) corrected p<.05 이하의 영역들을 따로 표기하였다.

기능적 자기공명영상(fMRI)의 영상분석은 모두 네 조건의 대비로 나누어 분석하였다; (1) 아름답다고 평정한 이미지들(B)에서 기저조건(rest)을 뺀 조건[B-rest], (2) 아름답지 않다고 평정한 이미지들(nB)에서 기저조건(rest)을 뺀 조건[nB-rest], (3) 아름답다고 평정한 이미지들(B)에서 아름답지 않다고 평정한 이미지들(nB)을 뺀 조건[B-nB], (4) 아름답지 않다고 평정한 이미지들(nB)에서 아름답다고 평정한 이미지들(B)을 뺀 조건[nB-B].

4.2. 행동자료 분석결과

4.2.1. 이미지 평정 결과

프랙탈 이미지에 대하여 참가자가 9점 척도로 평정한 결과를 Table 1에 제시하였다. 상위 이미지와 하위 이미지의 평정치가 대응표본 t 검정 결과 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(t(49)=58.99, SE=0.05, p<.001). 본 실험에 참가한 이들의 평정치와 예비실험에서 나온 평정치를 비교하기 위하여 Spearman 상관분석을 시행하였다. 그 결과, 순위 상관계수가 통계적으로 상당히 유의미하였다(r=.88, p<.001). 영상연구 실험의 참가자들은 예비실험의 참가자들과 유사한, 보편적인 아름다움의 준거를 가지고 있었다고 볼 수 있다.

Table 1. Descriptive statistics of aesthetic rating score

	Total images	fifty highest images	fifty lowest images	t (df)
Mean (SD)	4.33 (1.68)	5.80 (0.94)	2.85 (0.61)	58.99*** (49)

***p<.001

1) 심사의원의 의견에 따라 모수적 분석(parametric analysis)을 추가하였습니다.

4.2.2. 반응시간 자료분석

상위 50장의 반응시간과 하위 50장에 대한 평정 반응시간의 차이를 알아보기 위하여, 모니터로 평정한 경우와 자기공명 장치에서의 평정 반응시간을 각 조건에서 각각 대응표본 t 검정을 실시하였다. 그 결과, 두 조건에서 모두 아름답다고 평정하는 경우에 그렇지 않다고 평정할 때에 비해 반응시간이 유의미하게 길었다(모니터 평정: $t(49)=4.92$, $SE=18.17$, $p<.001$; 자기공명장치 평정: $t(49)=2.65$, $SE=23.45$, $p<.05$; Table 2).

Table 2. Descriptive statistics of aesthetic rating response time(ms) on monitor and in MRI scanner

	on monitor	in MRI scanner
Total images	1461.79(102.99)	1090.14(123.57)
fifty highest images	1506.50(76.29)	1121.21(129.03)
fifty lowest images	1417.08(107.39)	1059.07(110.6)
t(df)	t(49)=4.92***	t(49)=2.65*

*$p<.05$, ***$p<.001$

4.3. fMRI 분석결과

4.3.1. B-rest 조건에서의 활성화

아름답다고 평정한 이미지들을 볼 때 활성화된 뇌 영역을 살펴보고자 기저조건을 감산한 결과를 Table 3에 제시하였다. 그 결과 전반적으로 우반구보다 좌반구에서 더 많은 영역이 활성화되었음을 알 수 있었다(Figure 3a 참조). 특히 시각과 관련된 과제를 수행하였으므로 중후두회(middle occipital gyrus)에서 활성화되는 영역이 광범하였다. 전두엽 역시 양반구에서 광범한 활성화를 보였는데, 특히 좌반구 하전두회(inferior frontal gyrus)와 중전두회(middle frontal gyrus)의 활성화가 강하게 나타났다(FDR corrected $p<.05$). 또한 우반구 내측전두회(medial frontal gyrus; BA9)와 좌반구 대상회(cingualte gyrus)의 활성화도 관찰되었다. 상전두회(superior frontal gyrus)는 양반구에서 모두 활성화를 보였다. 전두엽 이외로 활성화를 보인 부위로는 하두정엽(inferior parietal lobule, BA 4), 전설소엽(precuneus), 뇌섬엽(insula), 상측두회(superior temporal gyrus)가 나타났다. 또한 좌반구 대상회(cingulate gyrus)의 활성화가 강하게 나타났다. 한편 모수적 분석(parametric analysis)에서는 상기한 활성화 영역 중 좌반구 중전두회와 중후두회의 활성화가 아름다움 평정치와 관련이 유의하게 나타난 영역이었다(Table 4).

Table 3. Brain activation regions in B-rest condition (uncorrected $p<.01$, voxel>10, **False Discovery Rate corrected $p<.05$)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Inferior Frontal Gyrus**	-42	2	2	2.91
	Middle Frontal Gyrus**	-42	25	2	4.4
	Superior Frontal Gyrus	-17	3	69	2.95
	Cingulate Gyrus**	-7	21	39	4.3
	Posterior Cingulate	0	-34	23	2.72
	Lingual Gyrus	-12	-97	-5	5.27
	Middle Occipital Gyrus	-22	-96	2	5.21
	Inferior Parietal Lobule	-46	-52	4	3.1
	Precuneus**	-3	-69	42	3.38
	Insula	-32	16	0	3.43
	Superior Temporal Gyrus**	-49	12	-4	3.3
	Declive	-3	-72	-8	3.17
R	Inferior Frontal Gyrus	45	7	26	2.68
	Medial Frontal Gyrus	5	-2	71	2.94
	Middle Frontal Gyrus	49	1	35	2.64
	Superior Frontal Gyrus	15	-8	7	2.9
	Cuneus**	13	-98	2	5.24

Table 4. Brain activation regions of parametric analysis in B-rest condition (uncorrected $p<.001$, voxel>10, **False Discovery Rate corrected $p<.05$)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Middle Occipital Gyrus**	-27	-80	-7	5.06
	Lingual Gyrus**	-18	-83	-9	4.95
	Middle Frontal Gyrus	-47	35	14	4
	Inferior Frontal Gyrus	-44	41	9	3.58
	Precuneus	-33	-63	37	3.91
R	Middle Occital Gyrus**	23	-85	11	5.15
	Parahippocampal Gyrus**	21	-29	-5	4.59
	Precuneus	24	-56	43	3.88
	Inferior Parietal Lobule	41	-32	42	3.67

4.3.2. nB-rest 조건에서의 뇌 활성화

아름답지 않다고 평정된 이미지들(nB)을 보고 판단할 때 활성화되는 뇌 부위를 검토해보고자 하위 50개 이미지에 대한 활성화 결과에 기저조건(rest)을 감산해 보았다(Table 5; Figure 4a). 그 결과 중후두회(middle occipital gyrus)의 활성화가 광범위 했고, 양반구 뇌섬엽(insula)와 전설소엽(precuneus)의 활성화도 나타났다. 그리고 양반구 설회(lingual gyrus)와 좌반구 대상회(cingulate gyrus)의 활성화가 뚜렷하게 나타났다. 한편 모수적 분석(parametric analysis)에서는 상기한 활성화 영역 중 좌반구 설회, 중후두회의 활성화가 아름다움 평정치와 관련이 유의하게 나타난 영역이었다(Table 6).

Table 5. Brain activation regions in nB-rest condition (uncorrected p<.01, voxel=10, **False Discovery Rate corrected p<.05)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Middle Frontal Gyrus**	-51	2	34	3.7
	Inferior Frontal Gyrus	-46	1	24	2.94
	Superior Frontal Gyrus	-17	3	69	2.87
	Cingulate Gyrus**	-7	21	4	4.45
	Posterior Cingulate	0	-34	23	3.6
	Lingual Gyrus**	-12	-97	-3	5.36
	Middle Occipital Gyrus	-24	-88	-1	5.18
	Postcentral Gyrus	-9	-43	65	2.61
	Precuneus**	-3	-69	42	3.59
	Insula	-34	16	0	3.23
	Superior Temporal Gyrus	-49	11	-6	3.26
R	Medial Frontal Gyrus	4	-12	68	3.15
	Inferior Frontal Gyrus	54	11	28	2.48
	Lingual Gyrus**	8	-95	-6	5.1
	Paracentral Lobule	7	-39	62	3.19
	Postcentral Gyrus	62	-24	19	2.66
	Insula	41	-14	11	2.55

4.3.3. B-nB 조건에서의 뇌 활성화

아름답다고 느끼는 경우의 활성화의 영역을 그렇지 않다고 경우의 이미지와 비교해 보기 위해, 두 조건을 직접 감산하였다(Table 7; Figure 3b). 좌반구 전두엽의

Table 6. Brain activation regions of parametric analysis in nB-rest condition (uncorrected p<.001, voxel>10, **False Discovery Rate corrected p<.05)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Middle Occipital Gyrus**	-29	-86	1	5.3
	Inferior Frontal Gyrus**	-32	24	6	5.21
	Insula**	-36	25	17	5.15
	Middle Occipital Gyrus**	-25	-82	-6	5.09
	Lingual Gyrus**	-18	-83	-9	4.71
	Insula	-44	12	3	4.59
	Precuneus	-26	-63	39	4.18
	Inferior Frontal Gyrus	-53	6	26	4.08
	Precentral Gyrus	-40	-2	27	3.87
R	Cuneus**	25	-92	1	5.6
	Middle Occipital Gyrus**	30	-81	10	5.14
	Thalamus**	12	-21	8	4.85
	Parahippocampal Gyrus**	19	-31	-4	4.61
	Precentral Gyrus**	56	0	25	4.6
	Insula	29	23	14	4.4
	Middle Frontal Gyrus	32	40	21	4.19
	Inferior Frontal Gyrus	45	-4	24	4.01
	Precuneus	19	-62	42	3.74
	Inferior Frontal Gyrus	38	33	12	3.72
	Postcentral Gyrus	50	-22	37	3.28

Table 7. Brain activation regions in B-nB condition (uncorrected p<.01, voxel>10, *uncorrected p<.001)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Inferior Frontal Gyrus	-47	2	11	2.82
	Superior Frontal Gyrus	-37	15	5	2.66
	Parahippocampal Gyrus	-12	-6	-13	2.86
	Lingual Gyrus	-16	-75	6	2.85
	Middle Occipital Gyrus	-48	-72	8	2.82
	Middle Temporal Gyrus	-46	-74	15	3.28
	Uvula	-8	-64	-31	2.86
R	Middle Frontal Gyrus	26	4	59	2.86
	Superior Frontal Gyrus	39	15	46	2.75
	Parahippocampal Gyrus*	14	-37	-4	3.37
	Precuneus	33	-69	4	3.16
	Middle Temporal Gyrus	47	-67	13	2.87
	Culmen*	14	-42	-1	3.59

활성화가 줄어들고, 중전두회(middle frontal gyrus)의 활성화만 관찰되었다. 전두엽 피질보다는 그 내측 영역인 부해마회(parahippocampal gyrus), 설소엽(cuneus) 등의 활성화가 눈에 뜨인다. 또한 양반구 중측두회(middle temporal gyrus)가 활성화되었다.

Table 8. Brain activation regions in nB-B condition (uncorrected p<.01, voxel>10, *uncorrected p<.001)

	Brain regions	Talairach coordinate			Z-score
		x	y	z	
L	Medial Frontal Gyrus	0	-27	65	3.03
	Middle Frontal Gyrus	-17	-11	61	3.03
	Precentral Gyrus	-17	-25	72	2.76
	Superior Frontal Gyrus	-38	41	27	3.03
	Parahippocampal Gyrus*	-19	-22	-16	3.37
	Posterior Cingulate	-5	-31	19	2.86
	Fusiform Gyrus	-27	-75	-12	2.83
	Lingual Gyrus	-14	-85	-9	3.17
	Postcentral Gyrus	-15	-42	65	3.11
	Superior Parietal Lobule	-20	-47	59	3.16
	Hypothalamus*	-8	-8	-8	3.46
	Middle Temporal Gyrus	-45	2	-31	2.84
	Superior Temporal Gyrus	-49	0	-9	3.57
R	Substania Nigra*	14	-23	-12	3.34
	Paracentral Lobule	4	-41	62	3.29
	Precentral Gyrus	51	-8	10	2.95
	Cuneus	4	-10	-2	3.11
	Lingual Gyrus	6	-86	-15	3.09
	Paracentral Lobule	11	-41	64	3.27
	Superior Temporal Gyrus	62	-38	11	2.97
	Declive	1	-81	-9	2.98

4.3.4. nB-B 조건에서의 뇌 활성화

아름다움의 평정에서 하위 이미지들을 보는 경우에 활성화되는 영역을 상위 이미지와 비교해 보기 위해, 두 조건을 직접 감산하였다. 좌반구 전두엽과 방추회(fusiform gyrus)를 포함하는 측두엽 영역에 조금씩 활성화 되었으며, 두정엽의 활성화도 나타났다(Table 8; Figure 4b). 아름답다고 평정한 조건에서 그렇지 않은 조건을 뺀 경우와 비교해보았을 때, 좌반구 전두엽의 활성화는 공통적이었으나, 두정엽의 활성화가 특징적으로 보였다. 또한 양반구 상측두회(superior temporal gyrus)의 활성화가 관찰되었다.

4.3.5. 결과 종합

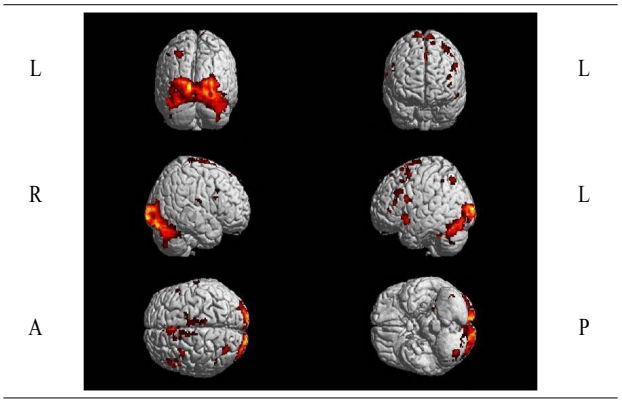
전체 조건의 뇌 활성화 영역을 표시한 그림이 Figure 3과 4에 제시되어 있다. 전반적으로 우반구보다 좌반구의 활성화가 더 많이 관찰되었다. 아름답다고 평정한 조건과 아름답지 않다고 평정한 조건 모두에서 전전두피질(BA9/46)의 활성화가 주목된다. 또한 대상회(cingulate gyrus)와 상측두회(superior temporal gyrus), 중후두회(middle occipital gyrus) 역시 두 조건에서 모두 공통적으로 관찰되었다. 반면 아름답다고 평정한 조건에서 좀 더 활성화된 부분은 양반구 상전두회(superior frontal gyrus)와 전설소엽(precuneus)이었다. 아름답지 않다고 평정한 조건에서 특징적으로 보인 부분은 방추회(fusiform gyrus)를 포함하는 측두엽 영역과 두정엽 영역의 활성화였다.

5. 종합 논의

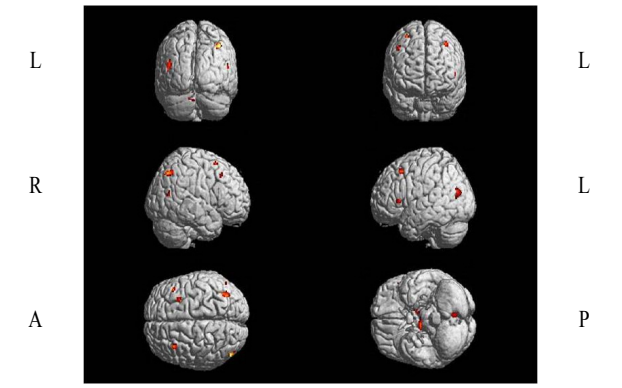
본 연구에서는 객관적인 아름다움에 대한 주관적인 경험으로서의 인지적, 감정적 경험에 관여하는 뇌 활성화 과정을 검토해 보고자하였다. 따라서 프랙탈 이미지로 과제를 구성하여 기능적 자기공명 장치를 이용한 신경영상 연구를 시도하였다.

아름다움 평정시간에 대한 결과에서 제시된 이미지를 아름답다고 평정할 때에 반응시간이 더 걸렸다. 이는 아름답다고 평정하는 경우에 일정 정도의 인지적 노력이 부가적으로 요구되었기 때문이라고 해석할 수 있다.

뇌 영상 자료를 보면, 아름답다고 판단하는 이미지를 볼 때, 양반구 전두엽에서 광범한 활성화를 보였는데, 특히 중전두회(middle frontal gyrus)에서 활성화되는 영역이 뚜렷하였다(Figure 3 참조). 모수적 분석에서도 아름다움 평정치와 유의한 상관성을 보여, 미적 판단에서 중전두회의 역할이 강조된다. 중전두회(middle frontal gyrus)는 작업기억에 관여하는 중추로(Leung, Gore, & Goldman-Rakic, 2002), 이미지에 대한 판단과 평정에 작업기억이 요구되었기 때문이라고 볼 수 있다. 전두엽의 다른 활성화 부위로 보이는 내측전두회(medial frontal gyrus; BA9)는 일반적인 감정처리를 관장하는 영역으로 알려져 있다(Phan, Wager, Taylor, & Liberzon, 2002). 덧붙여, 대상회(cingualte gyrus)는 주의에 관련된 부위로서 인지적 처리와 감정적 처리를 조절하며(Whalen., Bush, McNally, Wilhelm,

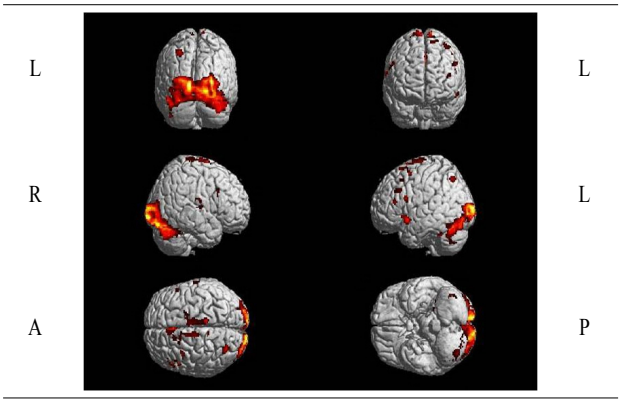


(a) B-rest

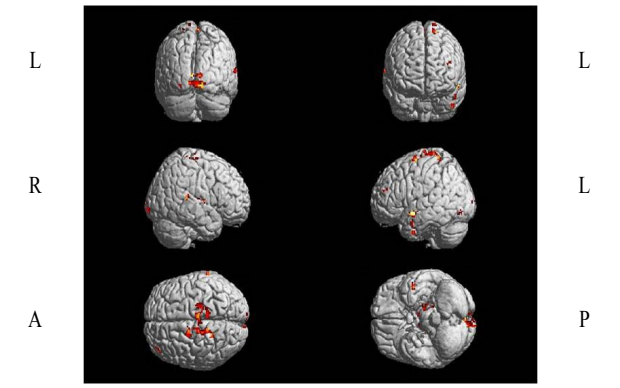


(b) B-nB

Figure 3. Brain regions showing significance activation related on beauty judgement conditions (a) B-rest, (b) B-nB (uncorrected p<.01, voxel>10), L=Left, R=Right, P=Posterior, A=Anterior.



(a) nB-rest



(b) nB-B

Figure 4. Brain regions showing significance activation related on non-beauty judgement conditions (a) nB-rest, (b) nB-B (uncorrected p<.01, voxel>10), L=Left, R=Right, P=Posterior, A=Anterior.

McInerney, Jenike, 1998; Bush, Luu, & Posner, 2000) 내측전두회와 상호작용하는 것으로 알려졌다(Petrides & Pandya, 1999; Devinsky, Morrell, & Vogt, 1995). 양반구에서 모두 관찰된 상전두회(superior frontal gyrus)는 웃음에 관련된 영역으로 보고된 부위로(Fried, Wilson, MacDonald, & Behnke, 1998), 과제에서 수행한 아름다움 평정이 근본적으로 쾌, 기쁨 등의 정서와 같은 맥락이었던 것이라 볼 수 있다. 아울러 뇌섬엽(insula)은 미적 평가에 관여한다고 보고되었으며(Cupchik et al., 2009), 또한 인지적 처리를 요구하는 감정처리에 관여하는 부위로도 보고되었다(Phan et al., 2002). 일반적인 미적 경험에 관여하는 인지적, 정서적 처리에 관여된 부위가 본 연구의 프랙탈에 대한 미적 경험에서도 관찰된 것이다.

반면에, 아름답지 않다는 판단을 한 이미지에 대해서는 시각적 자극으로 불쾌한 정서를 유발할 때 활성화되는 중후두회(middle occipital gyrus)가 강하게 활성화되었다(Lane, Reiman, Bardley, Lang, Ahern, Davidson, & Schwartz, 1997; Mak., Hu, Zhang, Xiao, & Lee, 2009; Phan et al., 2002). 또한 부정적인 정서를 조절하는 것으로 알려진 전설소엽(precuneus)의 활성화도 나타났다(Mak et al., 2009). 이는 아름답지 않은 자극이 아름답다고 느낀 자극에 비하여 상대적으로 불편한 정서를 유발하였음을 시사한다. 한편 중전두회도 활성화가 나타났으며, 이는 모수적 분석에서도 유의한 관련성을 보이는 바, 중전두회의 활성화는 미적 판단 전반에서 활성화되는 양상을 보였다.

접속분석으로 본 아름답다는 평정 조건에서 아름답지 않다고 한 조건을 직접 감산한 분석과 역으로 감산한 경우에 모두 부해마회(parahippocampal gyrus)가 관찰되었는데, 이는 이전에 수행한 과제의 기억이 영상장치 내에서의 판단에 영향을 미쳤기 때문으로 보인다. 아름답다는 평정조건에서 좀 더 활성화를 보인 상전두회(superior frontal gyrus)는 긍정적인 정서와 관

련되었기 때문으로(Fried et al., 1998) 해석할 수 있다. 또한 양반구 중측두회(middle temporal gyrus)가 활성화되었는데, 이 부위는 의미추론에 관여하는 영역으로 알려져 있다(Mummery, Patterson, Price, Ashburner, Frackowiak, & Hodges, 2000; Park, 2007). 이 영역의 활성화는 아름답다고 판단되는 프랙탈 자극에 대한 미적 평가에 의미론적 해석과정이 포함되었기 때문으로 보인다.

반면 아름답지 않다고 한 평정조건에서 아름답다고 평정한 조건을 감산하면, 두정엽의 활성화가 관찰되었는데, 추상적인 심적 이미지의 생성에 두정엽이 관여한다고 관찰된 보고들(Cavanna & Trimble, 2006; Goebel et al., 1998)에 비추어 본다면, 아름답지 않다고 보이는 자극에 대해 추상화 과정이 일어난 것이라 보인다. 또한 양반구 상측두회(superior temporal gyrus)의 활성화가 관찰되었는데, 이는 다른 사람의 마음읽기와 관련된 영역으로 알려져 있는 부위이다(Gallagher & Frith, 2003; Saxe, Carey, & Kanwisher, 2004; Park et al, 2010). 자신의 부정적인 평정에 대한 사회인지적 반응이 나타난 것이었다고 해석할 수 있다.

전반적으로 아름답다고 생각되는 이미지를 볼 때에 측두엽의 활성화가, 아름답지 않다고 판단한 이미지에 대해서는 두정엽 활성화가 특징적으로 나타난 것은 프랙탈의 미적 경험에 대한 흥미로운 해석을 시사해준다. 최근 미술작품을 의미론적 맥락에서 해석할 때 측두엽의 활성화를 보고한 연구들(Kirk et al., 2009; Park, 2007)이 있다. Park(2007)은 현대 미술작품을 이에 대한 비평이나 작가의 해설 등 의미를 추론할 수 있는 맥락과 함께 제시하면 중측두엽의 활성화가 특징적으로 보인다고 보고하였다. 또한 Kirk 등(2009)은 의미론적 맥락으로 제시된 그림이 전시된 장소를 알려주었을 때, 측두엽 극(temporal pole)이 활성화된다고 보고하였다. 이러한 연구와 관련지어 볼 때 본 연구에서도 참가자들은 프랙탈 이미지에서 아름다운 쪽의 자극들을 보면서, 이미지와 관련된 어떤 의미를 추론해내고자 한 것이라고 볼 수 있다. 이에 반해, 아름답지 않다고 판단된 이미지에 대해서는 구체적인 의미 보다는 추상적 대상으로의 추상화 과정이 이루어져 두정엽의 활성화가 특징적으로 나타난 것이었다고 보인다.

마지막으로, 본 연구에서는 자극에 대한 친숙성을 배제하고자 프랙탈 자극을 사용하였으나, 아름답다고 판단한 자극과 아닌 자극의 이러한 활성화 차이로 볼 때, 친숙성에 의한 결과로 해석할 수도 있겠다. 또한 전반적으로, 시각적 탐색, 정서 반응에 관련된 부분은 나타났지만, 보상에 관련된 부위는 나타나지 않았다. 예비연구에서 전반적으로 프랙탈 이미지에 대한 점수가 그리 높지 않았다는 점과 관련된다. 말하자면, 실험 자극이 참가자가 보상을 느낄 정도로 아름다운 이미지는 아니었던 것으로 보인다. 따라서 프랙탈 자극의 특수성 때문이라 할 수 있겠다.

본 연구에서는 프랙탈 이미지에 대한 미적경험을 뇌활성화 영역을 중심으로 검토하였다. 결과, 일반적인 미적경험에서 보고되는 보상이나 정서에 관련된 영역의 활성화 보다는 아름다운 이미지에 대해서는 측두엽의 활성화가, 그렇지 않은 추상적 이미지에 대해서는 두정엽의 활성화가 특징적으로 나타났음을 확인하였다.

REFERENCES

Burgess, P. W., Dumontheil, I., & Gilbert, S. J. (2007). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. *Trends in Cognitive Sciences, 11,* 290-298.

Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(6), 215-222.

Cavanna, A. E. & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: A review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain, 129,* 564-583.

Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Ohman, A., & Dolan, R. J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience, 7*(2), 189-195.

Critchley, H. D. (2005). Neural mechanisms of autonomic, affective, and cognitive integration. *The Journal of Comparative Neurology, 493*(1), 154-166.

Cunningham, W. A., Johnson, M. K., Gatenby, J. C., Gore, J. C., & Banaji, M. R. (2003). Neural components of social evaluation. *Journal of Personality and Social Psychology, 85,* 639-649.

Cupchik, G. C. & Winston, A. S. (1996). *Confluence and divergence in empirical aesthetics, philosophy, and mainstream psychology.* In E. C. Carterette & M. P(Eds.).

Cupchik, G. C., Vartanian, O., Crawley, A., & Mikulis, D. J. (2009). Viewing artworks: Contributions of cognitive control and perceptual facilitation to aesthetic experience. *Brain and Cognition, 70,* 84-91.

Cupchik, G. C., Winston, A. S., & Herz, R. (1992). Judgments of similarity and difference between paintings. *Visual Arts Research, 18,* 37-50.

Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L. L., Parvizi, J., et al. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of selfgenerated emotions. *Nature Neuroscience, 3,* 1049-1056.

Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B. A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. Brain, 118, 279-306.

Fairhall, S. L. & Ishai, A. (2008). Neural correlates of object indeterminacy in art compositions. *Consciousness and Cognition, 17,* 923-932.

Fried, I., Wilson, C. L., MacDonald, K. A., & Behnke, E. J. (1998). Electric current stimulates laughter. *Nature, 391,* 650.

Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(2), 51-96.

Goebel, R., Khorram-Sefat, D., Muckli, L., Hacker, H., & Singer, W. (1998). The constructive nature of vision: Direct evidence from functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery. *European Journal of Neuroscience, 10,* 1563-1573.

Kringelbach, M. L. & Rolls, E. T. (2004). The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: Evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Progress in Neurobiology, 72,* 341-372.

Kirk, U., Skov, M., Hulme, O., Christensen, M. S., & Zeki, S. (2009). Modulation of aesthetic value by semantic context: An fMRI study. *Neuroimage, 44,* 1125-1132.

Lane, R. D., Reiman, E. M., Bardley, M. M., Lang, P. J., Ahern, G. L., Davidson, R. J., & Schwartz, G. E. (1997). Neuroanatomocal correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia, 35*(11), 1437-1444.

Langlois, J. H. & Roggman, L. A. (1990). Attractive faces are only average. *Psychological Science, 1,* 115-121.

Leung, H. C., Gore, J. C., & Goldman-Rakic, P. S. (2002). Sustained Mnemonic Response in the Human Middle Frontal Gyrus On-Line Storage of Spatial Memoranda. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(4), 659-671.

Mandelbrot, B. B. (1977). *Fractals; Form, Chance and Dimension.* San Francisco: Freeman.

Mummery, C. J., Patterson, K., Price, C. J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., et al. (2000). A voxel-based morphometry study of semantic dementia: relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Annals of Neurology, 47,* 36-45.

Mak, A. K. Y., Hu, Z., Zhang, J. X., Xiao, Z., & Lee, T. C. (2009). Neural correlates of regulation of positive and negative emotions: An fMRI study. *Neuroscience Letters, 457,* 101-106.

Mummery, C. J., Patterson, K., Price, C. J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., & Hodges, J. R. (2000). A voxel-based morphometry study of semantic dementia: relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Ann Neurol, 47*(1), 36-45.

Park, M., Les, S., Yoon, H. W., & Ghim, H. R. (2010). Neural Correlates of Faux Pas Detection : An fMRI Study [헛디딤 탐지의 신경상관: 기능적 자기공명영상 연구]. *Korean Journal of Cognitive Science, 21,* 77-93. (in Korean).

Park, S. M. (2007). *Neuroimaging study for the effect of information about paintings on aesthetic preference for contemporary paintings.* (컨템포러리 회화 작품 감상 시 작품정보가 감상자의 미학적 경험에 미치는 영향에 대한 인지과학적 연구) Unpublished master's thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology. (in Korean).

Petrides, M. & Pandya, D. N. (1999). Dorsolateral prefrontal cortex: comparative psytoarchitectonic analysis in the human and the macaque brain and corticocortical connection patterns. *European Journal of Neuroscience, 11,* 1011-1036.

Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Funtional Neuroanatomy of Emotion: A

Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI. *Neuroimage, 16,* 331-348.

Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Niewenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science, 306,* 443-447.

Rhodes, G., Zebrowitz, L. A., Clark, A., Kalick, S. M., Hightower, A., & McKay, R. (2001). Do facial averageness and symmetry signal health? *Evolution and Human Behavior, 22,* 31-46.

Sakai, K. & Passingham, R. E. (2003). Prefrontal interactions reflect future task operations. *Nature Neuroscience, 6,* 75-.81.

Saxe, R., Carey, S., & Kanwisher, N. (2004). Understanding other minds: Linking developmental psychology and functional neuroimaging. *Annual Review of Psychology, 55,* 87-124.

Spehar, B., Clifford, W. G. C., Newell, R. B., & Taylor, P. R. (2003). Universal aesthetic of fractals. *Computers & Graphics, 27,* 813-820.

Van Buren, B. (2010). Rebuilding Neuroaesthetics from the Ground Up. *2009-2010 Penn Humanities Forum on Connections.*

Vartanian, O. & Goel, V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *Neuroreport, 15,* 893-897.

Whalen, P. J., Bush, G., McNally, R. J., Wilhelm, S., McInerney, S. C., Jenike, M. A., et al. (1998). The emotional counting Stroop paradigm: a funtional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biological Psychiatry, 44,* 1219-1228.

Zeki, S. & Kawabata, H. (2004). Neural Correlates of Beauty, *Journal of Neurophysiology, 91,* 1699-1705.

Zeki, S. (2000). *Inner Vision: an exploration of art and the brain* (C. Park, Trans.). Seoul: Sigongsa.

원고접수 : 2011.04.20
수정접수 : 2011.06.16
게재확정 : 2011.08.02