

자연과 도시환경의 인체친화성에 대한 신경해부학적 평가: 기능적 자기공명영상법

*전남대학교 대학원 의공학협동과정, †전남대학교 공과대학 건축학부,
‡전남대학교 의과대학 영상의학교실

김광원* · 송진규† · 정광우*‡

본 연구에서는 3.0 Tesla 기능적 자기공명영상법(function magnetic resonance imaging, fMRI)을 이용하여 자연과 도시풍경의 시각 자극에 따른 대뇌중추의 활성화 영역의 차이점을 규명하고, 아울러 대뇌 부위별 활성화 양상의 차이점을 정량적으로 분석하여 자연과 도시의 생활환경을 인체친화성과 관련하여 신경해부학적 측면에서 연구하고자 하였다. 오른손잡이 정상인 27명(평균 27.3±3.7세)을 대상으로 3.0T MRI를 사용하여 기능적 자기공명영상을 얻었다. 대뇌의 활성화를 유도하기 위한 시각 자극 패러다임은 3번의 휴지기와 2번의 활성화기로 구성되어 있고, 각각의 휴지기와 활성화기 지속시간은 30초와 120초로 하였다. 전체 피험자 27명의 설문결과를 바탕으로 자연풍경을 선호한 26명과 도시풍경을 비선호한 14명을 두 그룹으로 나눈 후 활성화 양상을 비교하였다. 자연과 도시풍경 간의 대뇌 활성화 양상을 비교한 결과, 도시풍경에 비하여 자연풍경을 보았을 때 유의한 수준($p < 0.05$)에서 활성화를 보인 영역은 뇌섬엽, 중전두회, 설전부, 미상핵, 상두정회, 상후두회, 방추상회, 창백핵이었으며, 도시풍경에서는 하전두회, 해마방회, 중심후회, 상측두회, 편도체, 후대상회 영역에서 우세한 활성화가 관찰되었다. 자연풍경에서는 도시풍경에 비해 주로 긍정적 정서와 관련된 영역에서 활성화가 나타난 반면, 도시풍경에서는 두려움, 공포, 불쾌감을 느낄 때 반응하는 편도체와 같은 부정적 정서와 관련된 영역에서 활성화가 나타났다. 본 연구에서는 3.0T 기능적 자기공명영상법 이용하여 자연과 도시풍경의 시각 자극에 따른 대뇌중추의 활성화 양상의 차이점을 신경해부학적인 측면에서 정성·정량적으로 평가할 수 있었고, 이러한 결과는 인간이 본능적으로 느낄 수 있는 희로애락의 감정에 따른 대뇌 활성화와 관련하여 생태환경의 인체 친화성과 쾌적성에 대한 객관적인 평가 지표로서 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

중심단어: 기능적 자기공명영상법, 대뇌 활성화, 자연풍경, 도시풍경

서 론

인간은 생활의 기본 요소인 의식주(衣食住)를 통하여 보다 나은 삶을 영위하려는 본능을 지니고 있다. 답답한 도시환경을 벗어나 쾌적한 환경 속에서 삶을 영위하고자 하는 인간의 행동은 그러한 습성에서 나온 것이라고 할 수 있다. 20세기 들어 전 세계적으로 산업화 사회의 도래와 함께 급속한 경제 발전으로 인해 인간은 의(衣)와 식(食)의 해결과

함께 생활의 풍요로움과 편리함은 얻게 되었지만, 그로 인해 인간의 생활권은 점차 도시화(都市化) 되면서 주변 환경이 황폐화 되어갔다. 2003년에 발간된 World Urbanization Prospects¹⁾에서 조사한 발표에 의하면, 전체 인구 중 영국 89.2%, 독일 88.5%, 미국 80.8%가 도시에 거주하는 것으로 보고 되었다. 우리나라의 경우 2005년 통계청 조사 결과, 전체 인구의 86.4%가 도시에 거주하고 있는 것으로 나타났다. 최근에 들어, 인간은 도심 속에 자연 친화적이면서 쾌적한 환경을 제공하는 생태건축, 생태공원, 녹지 등과 같은 주변 환경요소에 관심을 갖게 되었다.^{2,3)} 이러한 자연 친화적 생태환경 요소들은 인간의 행복 추구하고 함께 삶의 질 향상에 공헌하고 있으며, 사람들이 자연친화적 환경을 선호하는 것은 심리적인 피로를 풀어주고 마음의 평온함을 느끼게 하는 자연의 매혹적인 요소 때문이라고 한다.^{3,4)} Kaplan와 Kaplan⁴⁾은 자연 속에 내재된 아름다움이 사람들의 관심과 집중을 유발하고, 일상생활을 통해 지친 정신적

이 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징 연구사업단)와 전남대학교병원 임상의학연구소(CRI09051-1)의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 논문은 2010년 12월 23일 접수하여 2011년 3월 2일 채택되었음.

책임저자 : 정광우, (501-757) 광주시 동구 학동 8

전남대학교 의과대학 영상의학교실

Tel: 062)220-5881, Fax: 062)226-4380

E-mail: gwjeong@jnu.ac.kr

피로나 스트레스가 해소된다고 주장하고 있다.

오늘날 자연과 도시환경에 관한 연구⁵⁻¹¹⁾는 심리·생리적 측정 방법과 통계학적 검증을 통해 여러 분야에서 수행되고 있다. 이러한 연구들을 통해서 인간은 도시환경에 비해 자연환경에서 행복하고 편안함 등의 심리적 안정을 가질 수 있으며 스트레스 해소 완화에도 도움을 준다는 사실을 알 수 있고, 또한 인간이 자연영상(映像)을 봤을 때에도 정상인과 환자의 생리적 지표가 호전된다는 사실을 알 수 있었다.⁵⁻⁷⁾ 정신적으로 불안한 환자들에게 자연환경에 접하게 함으로써 심리적 안정을 가져오게 할 수 있고, 이러한 치료 방법은 범죄예방과 자기통제능력 향상에도 관련이 있는 것으로 보고 되고 있다.^{8,9)} 이상과 같이 생체 적합성을 평가할 수 있는 생리적 측정기법으로 전기 피부 반응, 심박수, 혈압 등의 전통적인 관능검사와 근전도(electromyography) 등을 비롯하여 최근에는 대뇌의 전기적 활동을 측정하는 뇌파검사(electroencephalograph, EEG)와 뇌의 저항을 기록하는 자기뇌파검사(magnetoencephalography, MEG) 등이 사용되고 있다. 현재까지 인간을 대상으로 자연과 도시환경에 따른 뇌 활성화의 차이를 측정하는 방법은 주로 EEG를 이용한 연구가 주류를 이루고 있다.^{10,11)} 뇌파를 이용한 Ulrich 등¹⁰⁾의 연구에서는 자연풍경을 봤을 때, 몸과 마음이 편안하면서도 의식이 집중 상태인 알파(α) 파가 도시풍경에 비하여 보다 높게 측정된다는 사실을 밝혔다. 최근 영상화 기법의 발달로 사물을 지각하고 감정 변화에 따른 뇌의 기능을 영상으로 표현할 수 있는 방법들을 임상분야에서도 많이 이용되고 있다. 그 중에서도 가장 각광받고 있는 뇌영상 기법들은 두뇌의 국소 혈류변화를 측정하는 양성자 단층촬영법(positron emission tomography, PET¹²⁾)과 뇌 조직의 혈중 산소농도의존(blood oxygenation level dependent, BOLD) 신호를 이용한 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI¹³⁾) 등이다. 이런 영상기법들은 학습이나 지각, 인지 등의 지적활동 외에도 기쁨이나 즐거움, 혐오, 분노 같은 감정이 어떤 신경 메커니즘(neural mechanism)을 통해 일어나는지 밝혀주고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 그 중에서도 fMRI는 1990년대에 들어서면서 혈류역학적 반응과 관련된 수소원자핵의 자기공명 현상을 이용하여 뇌의 기능을 평가하는데 주로 사용되고 있다. 즉, 뇌가 어떤 기능을 수행하게 되면 특정부위의 국소적 대사와 뇌혈류가 증가하게 되는데, 이러한 변화를 이용하여 뇌기능을 MRI 영상으로 표현한 기법이다. fMRI는 PET과는 달리 인체에 해가 없는 비침습적인 방법으로서 인간을 대상으로 반복적인 촬영이 가능하고 보다 높은 공간 해상력과 시간분해능을 제공하기

때문에, 뇌 과학 연구에서 많이 사용되고 있다.^{17,18)}

최근 인지·신경과학적 측면에서 fMRI를 이용하여 인간의 감정이나 인지와 관련된 여러 연구들이 시행되고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 반면, 자연과 도시환경 간의 차별화된 활성화 양상을 비교한 선행연구는 아직 미비한 실정이다. 인간은 감각을 통해서 주변 환경에 대한 정보를 얻으며 주변 환경에 적응하며 살아가고 있다. 인간의 마음에서 일어나는 여러 가지 감정, 즉 정서(emotion) 반응은 생존을 위해 필수적인 요소이며 주위환경에 적응할 수 있는 필요조건이다. 정서는 의식화된 감정이나 심적 상태라고만 여겨지고 있으나, 무의식 수준에서 이미 뇌의 신경계는 자동적으로 생리적 반응을 시작한다고 한다.^{19,20)} 이러한 뇌와 정서관계에 대한 연구들은 주로 긍정, 부정의 감정이나 인지, 판단에 따라 뇌의 활성화 부위가 다르게 나타난다. 인간의 뇌는 자연과 도시환경과 같은 서로 다른 환경 속에서 느끼는 감정과 인지상태에 따라 뇌의 활성화 영역이 서로 다르다고 가정할 수 있다. 예컨대 대뇌 부위 중 변연계는 감정과 관련된 부위이며 감정적 흥분과 정서적 행동을 나타내는데 있어 중추적인 역할을 담당하고, 대뇌피질은 인지, 지각, 판단 등의 고차원적인 기능을 담당하고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾

본 연구에서는 fMRI를 이용하여 인간의 심리상태나 감정과 직·간접적으로 연관성을 갖는 자연과 도시환경에 대하여 신경해부학적인 측면에서 대뇌의 활성화 양상의 차이점을 규명하고, 나아가서는 생태환경의 인체친화성 평가를 위한 객관적 지표를 신경과학적 측면에서 연구하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험 대상

피험자들은 신경생리학적 병력이 없고 특히 뇌의 손상 및 시각적 장애가 없는 오른손잡이 정상인 27명(평균 27.3±3.7세)으로 구성하였다. 동일한 실험 조건을 부여하기 위하여 실험참여에 앞서 실험에 대한 절차와 주의사항을 알려주었으며, 실험참여 동의를 얻은 후에 실험을 실시하였다. 본 연구는 전남대병원 임상연구위원회(IRB)로부터 승인을 받았다.

2. 실험 방법

1) 자기공명영상법(MRI): 형태·해부학적인 참고자료로서 T1강조영상과 T2강조영상을 얻기 위하여 3.0T Magnetom Trio MR Scanner (Siemens Medical Solutions, Germany)와

bird cage형의 두부코일(head coil)을 사용하였다. T1강조영상은 반복시간(repetition time, TR)/에코시간(echo time, TE)=500 msec/8 msec로 하였으며, T2강조영상은 TR/TE=3,500 msec/88 msec를 사용하여 시상면, 관상면, 축상면 방향으로 영상을 획득하였다. 이때 사용된 영상영역(field of view, FOV)은 22×22 cm, matrix의 크기는 192×192, 여기횟수(number of excitation, NEX)는 2, 절편두께(slice thickness)는 5 mm, 절편간격은 2 mm로 하였고 총 영상획득 시간은 397 초였다.

2) 기능적 자기공명영상법(fMRI): 기능적 자기공명영상을 얻기 위해서 경사면 에코 영상기법(gradient-echo echo planar imaging, GRE-EPI)을 사용하였으며, 영상변수로는 TR/TE=2,000 ms/30 msec, 숙임각(flip angle)=90°, FOV=22×22 cm, matrix 크기=64×64, NEX=1, 절편두께=5 mm로 하였다. 이때 전교련(anterior commissure, AC)과 후교련(posterior commissure, PC)을 연장한 AC-PC line을 기준으로 하여 25 개의 횡단면으로부터 각각 4,125개의 fMRI 영상을 얻었다. EPI 영상이 평형상태를 이루기 전에 나타나는 높은 신호를 보정하기 위해 활성화 상태의 영상을 얻기 전에 4초 동안 2phase의 모조영상(dummy scan)을 추가로 얻었으며, 총 영상획득 시간은 330초였다.

본 실험의 자극으로 사용된 자연과 도시풍경의 영상은 국내 유명 사진작가들의 웹 사이트로부터 자연과 도시풍경을 각각 대표할 수 있는 150장씩의 사진을 수집한 후, 6명의 대학원생을 대상으로 색상, 사진의 복잡성, 환경의 노출 정도 등을 최대한 동일하게 하여 자연과 도시환경의 특성을 잘 나타내는 40장씩의 사진을 선정하였다. 자연환경 사진들은 산, 들, 호수 등으로 구성되어 있으며, 도시환경 사진들은 도심지, 아파트, 주택가 등으로 구성되어 있다. 대뇌 피질의 활성화를 유도하기 위하여 각각의 자연과 도시환경 사진을 1분 30초씩 보게 하였으며, 자연과 도시환경 사진 전·후로 각각 30초간 휴지기로 구성된 시각자극 패러다임을 이용하였다. 자연과 도시환경 사진은 3초당 1장씩 화면에 나타났다. 자연과 도시환경을 대표하는 사진들의 광량에 따라 서로 다른 대뇌 활성화 영역이 나타나기 때문에 조도계를 사용하여 각각의 사진을 동등한 광량으로 보정하였다. 대뇌의 활성화를 유도하기 위하여 일련의 풍경사진을 빔 영상기(bean projector)를 이용하여 반투명 스크린에 투영시켜 두부 코일에 부착된 거울을 통해 영상을 보게 하였다.

3) 실험 후 설문조사: 설문조사의 내용은 피험자의 검사 직전의 심리상태, 실험에 대한 집중도, 실험 중 보았던 풍

경에 대한 느낌 등에 관한 질문으로 구성되었다. 풍경에 대한 주관적인 느낌 정도를 평가하기 위해서 “평온하였다(평온)”, “평온하지는 않지만 답답함과 거부감도 들지 않았다(일상적)”, “답답하고 거부감이 들었다(답답거부)”로 분류하였다.

3. 영상의 후처리 및 분석방법

기능적 자기공명영상의 후처리 및 분석을 하기 위하여 MATLAB (Mathworks, INC, USA) 환경에서 구현되는 SPM99 (Statistical Parametric Mapping 99, The Wellcome Department of Cognitive Neurology, University College London, U.K.) 프로그램을 이용하였다. 먼저, 기초 영상 자료들은 머리의 움직임으로 인해서 생기는 잡음을 보정하기 위해 움직임 보정(motion correction)과 재정렬(realignment)의 절차를 거친 다음, SPM99에서 제공하는 T1 template에 공간적 표준화(spatial normalization)를 수행하였다. 표준화된 영상은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 높이기 위해 8 mm의 FWHM (Full width at half maximum)을 갖는 Gaussian Kernel filter로 중첩(convolution)하여 smoothing하였다. 개인별 BOLD 신호의 변화를 알아보기 위해 2×2×2 mm 크기의 voxel 단위로 활성화와 휴지기 조건에서 independent t-test (p<0.05)를 시행하여 활성화 지도(activation map)를 얻었다.

자연풍경(26예)과 도시풍경(14예)의 영상을 대상으로 각각 “One sample t-test (p<0.05)”를 이용하여 그룹별 평균영상을 얻었고, “Two sample t-test (p<0.05)”를 이용하여 자연과 도시 그룹 간의 차별영상을 얻었다. 그룹별 평균영상과 차별영상을 이용하여 대뇌 부위별로 활성화 정도와 반구 우세도를 분석·평가하였다. 먼저, 활성화된 대뇌 영역은 SPM99의 표준 공간의 위치를 나타내는 MNI (Montreal Neurological Institute) 좌표와 함께 FALBA (Functional & Anatomical Labeling of Brain Activation) 프로그램²¹⁾을 사용하여 대뇌의 해부학적 영역별로 활성화된 영역을 화소수를 기준으로 하는 활성화 비율(%), activation ratio)과 편재화 지수(lateralization index)에 따른 좌·우반구 우세도(%)를 결정하였다(식 (1) 참조).

$$\text{활성화비율(\%)} = \frac{\text{영역별 활성화 화소수}}{\text{영역별 총 화소수}} \times 100 \quad (1)$$

Table 1. Comparison of the voxel-based brain activation ratios (%) resulting from visual stimulation with natural and urban scenic views: one sample *t*-test ($p < 0.05$).

Brain areas	Anatomical areas	Rural (26 cases)		Urban (14 cases)	
		Activity (%)	Lateralization (%)	Activity (%)	Lateralization (%)
Frontal lobe	Superior frontal gyrus	0.78	L 88.66	0.19	L 56.06
	Middle frontal gyrus	4.16	R 45.30	3.33	L 27.90
	Inferior frontal gyrus	12.31	R 5.60	20.08	L 59.49
	Precentral gyrus	5.17	L 25.11	7.52	L 70.63
Temporal lobe	Superior temporal gyrus	-	-	4.68	L 56.73
	Middle temporal gyrus	0.35	R 88.89	1.83	L 23.63
	Inferior temporal gyrus	16.03	R 5.65	2.38	R 35.37
Parietal lobe	Superior parietal gyrus	15.28	L 49.25	10.80	L 61.37
	Inferior parietal gyrus	4.17	L 65.66	2.86	L 100.00
	Precuneus	2.70	R 42.15	-	-
Occipital lobe	Superior occipital gyrus	42.44	R 22.45	14.29	R 17.58
	Middle occipital gyrus	67.05	L 13.23	49.24	L 17.40
	Inferior occipital gyrus	72.36	R 18.29	57.46	R 40.14
	Fusiform gyrus	67.93	R 1.49	51.82	R 0.77
Insula	Calcarine gyrus	47.03	R 11.06	34.73	L 0.73
	Insular cortex	3.20	R 56.32	-	-
Limbic system	Hippocampus	11.74	- 0.00	5.38	R 40.51
	Parahippocampal gyrus	29.15	R 45.83	17.57	R 52.83
	Amygdala	-	-	1.17	- 0.00
Cerebellum	Cerebellar cortex	23.95	R 11.71	16.78	R 7.53

결 과

1. 시각적 풍경사진에 대한 설문결과

전체 피험자 27명을 대상으로 자연풍경을 봤을 때의 느낌에 대한 설문결과는 다음과 같다: 평온(26명, 96.3%), 답답거부(1명, 3.7%).

도시풍경을 봤을 때의 느낌에 대한 설문결과를 종합 분석해 보면 다음과 같다: 답답거부(14명, 51.9%), 일상적(13명, 48.1%).

2. 시각 자극에 의한 대뇌 중추의 활성화 양상의 비교

전체 피험자 27명의 설문결과를 바탕으로 자연풍경을 선호한 26명과 도시풍경을 비선호한 14명을 두 그룹으로 나눈 후 활성화 양상을 비교하였다. One sample *t*-test ($p < 0.05$)를 이용하여 시각 자극에 의한 대뇌중추의 활성화 양상을 비교한 결과, 자연풍경에서 활성화된 영역은 하후두회(Inferior occipital gyrus, IOG), 방추상회(Fusiform gyrus, FUSI), 중후두회(Middle occipital gyrus, MOG), 조거회(Calcarine gyrus), 상후두회(Superior occipital gyrus, SOG), 해마방회(Parahippocampal gyrus, PHIP), 소뇌피질(Cerebellar cortex,

CRBL), 하측두회(Inferior temporal gyrus, ITG), 상두정회(Superior parietal gyrus, SPG), 하전두회(Inferior frontal gyrus, IFG), 해마(Hippocampus, HIP), 중심전회(Precentral gyrus, PRC), 하두정회(Inferior parietal gyrus, IPG), 중전두회(Middle frontal gyrus, MFG), 뇌섬엽(Insula, INS), 설전부(Precuneus, PCU), 상전두회(Superior frontal gyrus, SFG), 중측두회(Middle temporal gyrus, MTG)이었으며, 특히 도시풍경에서는 관찰할 수 없었던 설전부와 뇌섬엽에서 활성화를 보였다. 한편 도시풍경에서 활성화된 영역은 하후두회, 방추상회, 중후두회, 조거회, 하전두회, 해마방회, 소뇌피질, 상후두회, 상두정회, 중심전회, 해마, 상측두회(Superior temporal gyrus, STG), 중전두회, 하두정회, 하측두회, 중측두회, 편도체(Amygdala, AMYG), 상전두회이었으며, 특히 자연풍경에서는 관찰할 수 없었던 상측두회와 편도체에서 활성화가 관찰되었다(Table 1, Fig. 1, 2).

3. 자연과 도시풍경 간의 차별화된 활성화 양상의 비교

Two sample *t*-test ($p < 0.05$)를 이용하여 자연과 도시풍경 간의 대뇌 활성화 양상을 비교한 결과, 도시풍경에 비하여 자연풍경을 보았을 때 미세한 활성화를 보인 영역은 뇌섬엽, 중전두회, 설전부, 미상핵, 상두정회, 상후두회, 방추상

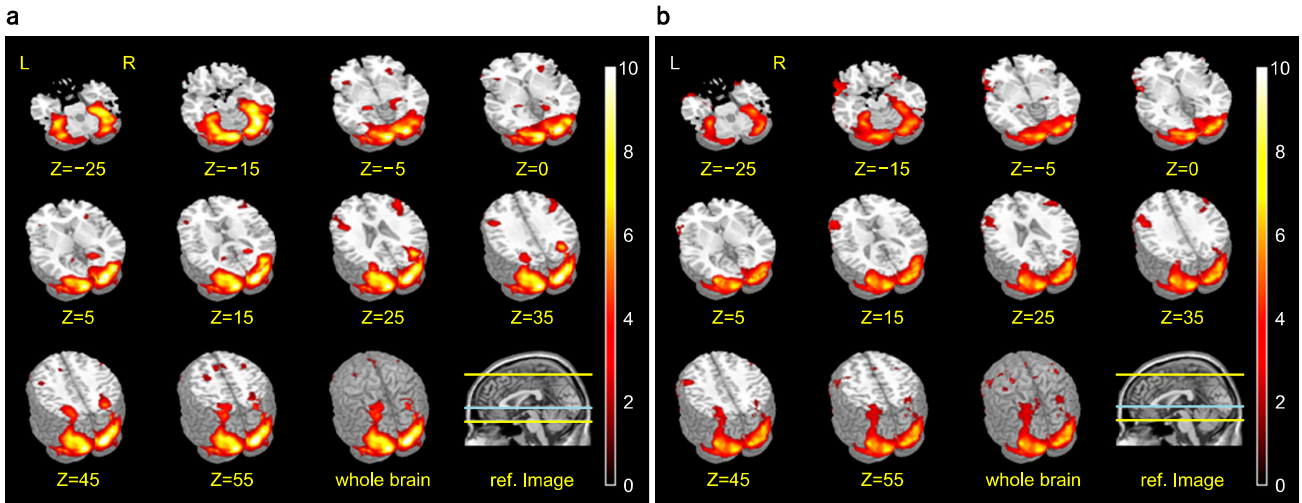


Fig. 1. Brain activation patterns evoked by visual stimulation with still pictures demonstrating rural (a) and urban (b) scenic views. Color-coded pixels on the activation maps resulting from the one sample *t*-test were scaled to the range between the cutoff-threshold and the highest *t*-value ($p < 0.05$).

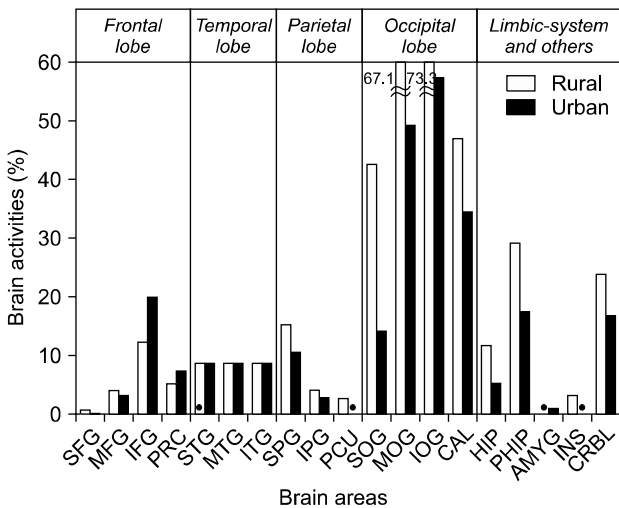


Fig. 2. Voxel-based brain activation ratios (%) resulting from visual stimulation with rural and urban scenic views using the one sample *t*-test ($p < 0.05$) (“·”: represents no brain activation).

회, 창백핵이였으며, 도시풍경에서는 하전두회, 해마방회, 중심후회, 상측두회, 편도체, 후대상회 영역에서 우세한 활성화가 관찰되었다(Table 2, Fig. 3).

고찰 및 결론

뇌는 주변 환경에 대한 정보를 단순히 수용하는 기능만을 하는 것이 아니고 오감을 통해 들어온 입력 정보들을

선택적으로 집적하여 인지하고 사고한다. 인간들이 일상생활에서 직면한 많은 정보들은 시각에 의존하고 있다. 시각 정보를 통해 느끼는 감정(emotion)은 중추 신경계에서 정보를 통합하고 분석한 다음, 말초 신경계를 통해 신체에 적절한 반응을 일으키게 된다.¹⁶⁾ 외부의 정보 처리를 담당하는 중추 신경계는 시각 자극에 의해 일어나는 감정에 있어서 중요한 역할을 하며, 따라서 인간이 처해있는 주변 환경에 대한 신경과학적인 평가는 매우 중요한 의미를 가질 것이다. 외부의 자극에 의해서 수용되는 이러한 감정은 우리의 주의(attention)를 불러일으키고, 행동(behavior)을 동기화하며, 또한 자극에 대한 의미성을 부여하고 결정하게 되는데 이러한 일련의 행동 양상은 뇌의 특정한 영역의 활성화와 연관 지어 생각할 수 있다.

우리는 매일 주변 환경요소에 의해 감정의 변화를 겪고 있다. 즉 급속한 도시발달로 인해 도시에서 생활하는 인구가 점점 많아지고, 그로 인해 복잡하고 다양한 도시환경 속에서 복합적인 감정의 변화를 경험하게 된다. 비록 현대적인 도시는 풍요로움과 편리함을 제공하지만, 쾌적한 환경이 저해되고 무질서한 도시공간으로 변모되는 문제점을 가지고 있다. 이에 부응해서 도시생활과 자연이 서로 조화를 이루고 환경 친화적인 도시에 대한 요구가 높아지면서, 도시 속에 자연 친화적인 생태공원이나 생태건축이 조성되고 있다.^{2,3)} 이러한 변화는 생태환경의 요소들이 인간의 자율 신경계를 안정화시키고, 답답한 도시생활에서 일어나는 스트레스를 감소시키는 효과를 통하여 부정적인 심리상태를

Table 2. Differential brain activities between rural and urban scenic views: two sample *t*-test ($p < 0.05$).

Anatomical areas	<i>t</i> -value	MNI coordinates (x, y, z)		
Rural > Urban				
Insula	4.11	34	22	8
Middle frontal gyrus	4.02	32	45	8
Precuneus	3.90	-10	-64	54
Caudate nucleus	3.30	-18	12	24
Superior parietal gyrus	2.72	-14	-71	49
Superior occipital gyrus	2.56	-11	-91	19
Fusiform gyrus	2.44	42	-24	-24
Globus pallidus	2.13	23	-6	5
Urban > Rural				
Inferior frontal gyrus	3.72	54	42	0
Parahippocampal gyrus	3.48	-18	-10	-28
Postcentral gyrus	3.17	-30	-30	72
Superior temporal gyrus	3.13	-45	24	-14
Amygdala	2.44	-22	-3	-25
Posterior cingulate gyrus	2.11	-4	-48	16

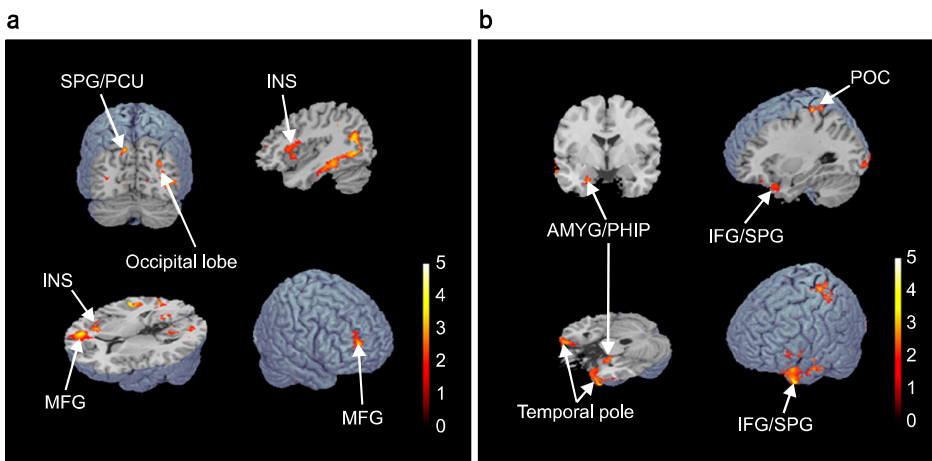


Fig. 3. Brain activation patterns obtained from predominance of rural over urban scenic views (a) and predominance of urban over rural scenic views, which were analyzed with two sample *t*-test. Color-coded pixels on the activation maps were scaled to the range between the cutoff-threshold and the highest *t*-value ($p < 0.05$).

긍정적으로 변화시킬 수 있기 때문이다.⁵⁻⁷⁾ 일반적으로 생태환경 요소를 평가할 때는 주로 시·청각의 반응에 의존하는데 그 중에서도 시각적인 정보와 관련되는 색채(color) 반응에 따른 감정변화는 본 연구와 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다.²²⁾ 예로 들어 자연환경은 주로 식물과 연관된 녹색 계통의 색으로 이루어져 있는데 녹색은 행복이나 평온감과 같은 긍정적인 감정반응을 나타내는 반면, 도시환경은 아스팔트 도로나 건축물 등의 인공 구조물과 연관된 어두운 계통의 색(검정, 회색 등)이 주류를 이루며 이러한 색상들은 일반적으로 부정적인 감정을 나타낸다고 한다.²²⁾ Kaya와 Epps²³⁾은 남자 44명과 여자 54명의 대학생을 대상으로 색깔과 관련된 시각 자극을 주었을 때 느꼈던 감정상태를 조사한 결과, 선호한 색은 자연환경과 관련된 녹색

(95.9%)이었고, 비선호색은 도시환경과 관련된 검정색(19.4%), 회색(7.1%)이라고 보고하고 있다. 일반적으로 자연과 조화된 환경 속에서 인간이 느끼는 감정이나 심리상태가 도시환경보다는 편안하고 심리적 안정을 주는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 fMRI 실험이 끝난 후, 총 27명의 피험자들에게 자연과 도시풍경을 보여주면서 느낀 감정에 대한 설문조사를 실시하였다. 그 결과, 자연풍경을 봤을 때 “평온하였다”(26예, 96.3%)라고 답한 사람이 대부분이었다. 반면 도시풍경을 봤을 때는 28예 모두 “답답하고 거부감이 들었다”(14예, 51.9%) 또는 “그저 그렇다”(13예, 48.1%)라고 답하였다. 이러한 설문결과를 바탕으로 자연환경을 선호한 26예와 도시환경을 봤을 때 “답답하고 거부감이 들었다”라

고 대답한 14예를 대상으로 두 그룹으로 나눈 후, one sample *t*-test를 이용하여 자연과 도시환경에 대한 대뇌 활성화 양상을 평가하였다. 대뇌 영역별 활성화 비율(%)을 기준으로 평가한 결과, 자연풍경을 봤을 때 후두엽(53.7%), 전두엽(5.1%), 두정엽(4.4%), 측두엽(4.0%), 변연계(3.7%) 등이었고, 도시풍경에서는 후두엽(37.8%), 전두엽(6.3%), 측두엽(2.9%), 두정엽(2.5%), 변연계(1.5%) 등으로 나타났다. 한편 자연풍경에서만 활성화가 나타난 영역은 설전부, 뇌섬엽이었으며, 도시풍경에서만 활성화가 나타난 영역은 상측두회와 편도체이었다.

대뇌 신피질에서 나타난 활성화 영역들은 주로 감정과 관련된 시각 자극에 대한 주의, 인지, 의사결정과 관련이 있을 것으로 보인다. 시각적 자극은 빛 자극이 망막의 시세포와 시신경을 통해 시상의 외측슬상핵(lateral geniculate nucleus)을 거쳐 후두엽의 1차 시각 피질에 도달함으로써 시작된다. 시각을 통해 입력된 정보가 1차 시각피질에서 2차 시각피질을 통해 시각자극을 인지하고 시각하게 되면 1차 시각피질에서 활성화가 일어난 다음, 신경적 전이 파도가 2, 3차 시각 피질로 전달되어 의식의 변화를 일으킨다.²⁴⁾ 본 연구 결과에서 자연과 도시풍경을 볼 때, 1~3차 시각 피질에 해당하는 후두엽의 상후두회, 중후두회, 하후두회 등에서 다른 부위보다 활성화가 높게 나타났다. 이것은 중립의 사진보다는 감정과 관련된 사진을 볼 때 2, 3차 시각피질의 활성화가 높게 나타나며, Brodmann 17~19번에 해당하는 후두엽이 시각정보처리(visual information processing)를 담당한다는 보고와 일치하였다.^{15,16,25)} 한편 후두엽에서 자연풍경을 봤을 때의 활성화 비율(53%)이 도시풍경(38%)보다 높게 나타났으며, 또한 자연풍경에서 활성화영역의 활성화 강도가 도시풍경보다 높게 나타났다. 자연풍경을 봤을 때 도시풍경보다 후두엽의 활성화 비율과 활성화 강도가 높게 나타났는데, 이것은 설문결과와 같이 답답함을 느낀 도시풍경보다는 편안함을 느낀 자연풍경을 더 선호하기 때문에 더욱 주의를 기울이며 인지적으로 몰입했을 거라고 생각된다. 한편 하전두회와 상두정회에서도 자연과 도시풍경 모두에서 다른 부위보다 높은 활성화가 나타났다. 특정 시각 자극에 대한 감정적 처리나 의사결정에 중요한 역할을 하는 하전두회는 도시풍경에서, 자극 대상에 대한 감정 회상(回想)을 담당하는 상두정회에서는 자연풍경에서 높은 활성화를 보였다.^{26,27)}

변연계에서는 시각 자극에 의한 감정과 관련이 있다고 볼 수 있는데, 특히 해마와 해마방회에서 높은 활성화 비율이 관찰되었다. 해마와 해마방회는 시각, 감각 등의 정보를

입력받아 지각, 기억, 사고들의 정보의 출력을 담당하고, 예전 경험이나 학습된 내용에 대해 인출하거나 새로운 기억과 유지에 관여한다.^{25,28)} 자연과 도시풍경에서 해마와 해마방회의 활성화는 풍경 자극에 대한 정보 입력과 동시에 예전 일상적인 경험의 인출과 관계가 있다고 생각된다. 특히 자연풍경을 봤을 때 해마와 해마방회의 활성화 비율이 높게 나타났는데, 자연풍경의 자극이 도시풍경보다 자극적이지 않고 긍정적인 감정과 연관되어 있어 자연 친화적인 풍경을 봤을 때 좋은 기억과 관련된 잠재적인 본성에 기인한 것으로 추정해 볼 수 있다. 또한 해마의 경우 최근 연구에서 좌·우반구의 기능이 다르다고 알려졌는데, 우반구는 익숙한 것과 관련된 인출을 담당하고 좌반구는 새로운 자극과 관련이 있다고 알려져 왔다.²⁸⁾ 도시풍경에서는 우측 해마에서 활성화 비율이 높았는데, 우리가 살고 있는 도시환경이 자연환경보다는 더 익숙하다고 생각하기 때문에 우측 해마에서 활성화 강도가 높게 나타났다고 가정할 수 있다. Bremner 등²⁹⁾는 PET을 이용하여 감정적으로 선호도가 높은 색상(녹색, 노랑 등)과 관련된 활성화 영역을 관찰한 결과 뇌섬엽, 전대상회, 소뇌, 중전두회에서 활성화가 나타난다고 보고하였다. Ulrich¹⁰⁾의 연구에서는 명상(meditation)을 할 때 뇌파검사를 실시하면 몸과 마음이 편안하고 의식이 집중 상태인 알파(α) 파가 측정된다고 하였는데, 명상을 하는 동안 fMRI를 이용하여 대뇌 활성화 부위를 관찰한 결과 전전두엽과 두정엽, 해마, 해마방회, 전대상회, 중심후회에서 유의한 활성을 보였다.³⁰⁾ 다시 말해 명상을 하는 동안 주의집중과 관련된 대뇌 부위와 자율신경계 활동을 조정하는 뇌 부위의 활성이 높게 나타났다. 한편 대부분의 연구에서 불쾌하거나 혐오스러운 시각 자극과 같은 부정적인 반응에서는 전전두엽, 측두극(temporal pole), 편도체, 대상회에서 활성화가 일어난다고 보고되었다.^{12,13,26,31)}

자연풍경에서만 활성화가 나타난 영역은 설전부, 뇌섬엽이었다. 설전부와 뇌섬엽의 활성화는 자연풍경을 보면서 시각적으로 주의를 기울이며 예전에 경험했던 기억이나 추억들을 떠올렸을 것으로 유추 해석할 수 있다. 특히 우측 설전부는 시각 대상에 주의를 기울일 때 활성화되는 영역이고, 또한 자극을 주는 동안 시각적으로 심상을 떠올리는 일화성 기억에 관련된 영역이다.²⁷⁾ 뇌섬엽은 시각 자극에 대한 감정을 회상하거나 내적 감정 상태와 밀접한 관계가 있다.³²⁾ 한편 도시풍경에서만 활성화가 나타난 영역은 상측두회와 편도체 이었는데 이러한 영역의 활성화는 답답한 도시풍경을 보면서 거부 반응에 의한 것이라고 생각된다. 선행 연구에서 편도체는 두려움, 공포, 불쾌감과 같은 부정적

정서의 습득과 표현을 담당하는 영역이고, 상측두회는 불쾌한 자극을 볼 때 활성화되는 영역이라고 보고하였다.^{26,31)}

자연환경을 선호한 26예와 도시환경을 봤을 때 “답답하고 거부감이 들었다”라고 대답한 14예를 대상으로 두 그룹으로 나눈 후, two sample *t*-test를 이용하여 자연과 도시풍경 간의 대뇌 활성화를 상호 비교하였다. 자연풍경에서 우위를 보인 활성화 영역은 뇌섬엽, 중전두회, 설전부, 미상핵, 상두정회, 상후두회, 방추상회, 창백핵이었고, 도시풍경에서 우위를 보인 영역은 하전두회, 해마방회, 중심후회, 상측두회, 편도체, 후대상회 이었다. 좌·우반구 우세도를 비교해보면 자연풍경에서는 우반구(R, 35.6%), 도시풍경의 경우에는 좌반구(L, 37.2%) 우세를 보였다. 이것은 감정의 뇌로 알려진 우반구가 감정이나 인지 작용을 할 때 좌반구에 비해 우세하게 반응한다는 사실과 일치하였다.^{33,35)}

자연풍경에서 우위를 보인 활성화 영역은 주로 자연 친화적인 풍경을 봤을 때 긍정적인 감정을 느꼈을 것으로 예측할 수 있으며, 앞에 설명했던 뇌섬엽과 설전부의 활성화 양상이 이를 뒷받침해 준다. 또한 두정엽의 상두정회와 설전부의 활성화는 자극을 주는 동안 시각적으로 심상을 떠올리는 일화성 기억과 관련이 있다는 연구결과와 일치하게 나타났다.²⁷⁾ 미상핵을 포함한 기저핵의 활성화는 긍정적인 감정과 관련이 있는데, 행복했던 과거를 회상을 하거나 기분 좋은 사진을 볼 때 활성화가 나타난다는 선행 연구와 일치한다.^{36,37)} 이러한 결과는 사람이 긍정적인 감정을 가지게 되거나 예기치 않는 새로운 보상이 다가왔을 때 만족감이나 즐거움을 느끼게 하는 물질인 도파민이 기저핵에서 생성되기 때문이라고 한다.^{37,38)} 또한 Lane 등²⁵⁾은 좋아하는 사진을 볼 때 관련된 활성화 영역이 변연계의 뇌섬엽과 미상핵이라고 보고하였는데, 본 연구 결과에서도 자연풍경을 봤을 때 위와 같은 영역에서 활성화가 관찰되었다.

반면 도시풍경에서 우위를 보인 활성화 영역은 주로 도시환경의 풍경을 부정적으로 인지하고 판단하였을 것으로 예측할 수 있다. 해마방회와 편도체의 활성화는 스트레스를 받을 때 밀접한 관계가 있으며, 하전두회와 편도체의 활성화는 불쾌한 반응을 가졌을 때 나타나는 영역이라고 보고되었다.^{23,39)} Kaplan 등²⁶⁾은 전두엽에 속하는 하전두회는 일화 기억의 인출시의 처리 감시 또는 인출 결과의 평가와 같은 인출 후 처리과정이나 자기 통제적 사고와 같은 고차 인지 과정과 관련이 있다고 보고하였다. Kross 등⁴⁰⁾은 거부 반응에 따른 대뇌 활성화 영역이 좌측 하전두회에서 활성화가 나타나며, 자기통제와 밀접한 관계가 있으며, Lane 등¹⁵⁾은 시각 자극에 의한 주의산만(distraction)과 관련된 대뇌중추

는 해마방회, 전두엽, 상측두회, 하전두회의 활성화와 관련이 있다고 주장하였다. 그리고 도시풍경을 봤을 때만 활성화가 나타난 편도체에서는 부정적인 정서 반응과 관련이 있다고 생각된다. 편도체는 정서적 자극의 인출과 관련된 부위로서 특히, 두려움, 공포, 불쾌감정의 부정적인 자극에 대해 반응한다고 알려져 왔다. 예를 들어 부정적 정서를 유발하는 시각자극을 봤을 때 정상인에서는 불쾌한 감정을 경험한 반면, 편도체가 절제된 urbach-wiethe 환자들은 불쾌한 자극에 대한 기억을 느끼지 못하였다.³¹⁾ 본 결과로부터 피험자들은 답답한 도시풍경을 봤을 때 시각 자극에 주의가 기울이지 않고, 불쾌한 감정을 가지며 그 상황을 벗어나기 위해 여러 생각을 했을 것으로 생각된다.

본 연구의 문제점은 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 자연과 도시풍경사진을 빔 프로젝트를 이용하여 정적(static)인 방법으로 시각을 자극했기 때문에 역동적(dynamic)인 풍경의 특징을 나타낼 수 없었으며, 따라서 실제 풍경에서 느끼는 심리상태나 감정을 제대로 반영하지 못하였으며, 둘째, 인간은 오감을 통해 감정을 인지하는데, 본 연구에서는 시각적 자극에만 의존했기 때문에 향후 후각과 청각 등의 복합적인 자극에 의한 연구가 필요하며, 셋째, fMRI 실험과 동시에 피험자가 느낄 수 있는 감정에 대한 객관적인 측정(생리적 측정) 방법을 병용하지 않았다는 점과 함께, 생태환경의 인체 친화성에 관한 fMRI의 연구는 전무(全無)한 상태이므로 본 연구에 대한 객관적인 비교를 할 수 없었다는 점을 들 수 있다.

이상의 결과를 종합적으로 판단하여 본 연구의 의의를 살펴보면, 3.0 Tesla 고자장의 기능적 자기공명영상법을 이용하여 최초로 자연과 도시환경에 대한 대뇌 활성화 양상의 차이점을 신경해부학적 측면에서 평가하였다는 점이다. 아울러 본 연구의 결과는 생태환경의 인체친화성과 쾌적성에 대한 신경과학적인 객관적 평가 지표로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. United Nations. *World Urbanization Prospects: The 2003 revision*. New York (2003)
2. Bolund P, Hunhammar S: Ecosystem services in urban areas. *Ecol Econ* 29:293-301 (1999)
3. Chiesura A: The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape Urban Plan* 68:129-138 (2004)
4. Kaplan R, Kaplan S: *The experience of nature, a psychological perspective*. Cambridge University Press, Cambridge (1989)

5. Ulrich RS, Simons RF, Losito BD, Fiorito E, Miles MA, Zelson M: Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *J Environ Psychol* 11:201-230 (1991)
6. Laumann K, Garling T, Stormark KM: Selective attention and heart rate responses to natural and urban environments. *J Environ Psychol* 23:125-134 (2003)
7. Bakana WH, Young DW: Community coping skills enhanced by an adventure camp for adult chronic psychiatric patients. *Hosp Community Psychiatry* 36:746-748 (1985)
8. Kuo FE, Sullivan WC: Environment and crime in the inner city: Does vegetation reduce crime? *Environ Behav* 33:343-367 (2001)
9. Taylor AF, Kuo FE, Sullivan WC: Views of nature and self-discipline: Evidence from inner city children. *J Environ Psychol* 22:49-63 (2002)
10. Ulrich RS: Natural versus urban scenes: some psychophysiological effects. *Environ Behav* 13:523-556 (1981)
11. Nakamura R, Fujii E: A comparative study of the characteristics of the electroencephalogram when observing a hedge and a concrete block fence. *J Jpn Inst Landscape Arch* 55:139-144 (1992)
12. Phelps ME, Magiotta JC: Positron emission tomography and brain imaging. *Science* 228:299-309 (1995)
13. Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, Glynn P: Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magn Reson Med* 14:68-78 (1990)
14. Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I: Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage* 16:331-348 (2002)
15. Lane RD, Chua PM, Dolan RJ: Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia* 37:989-997 (1999)
16. Lang PJ, Bradley MM, Fitzsimmons JR, et al: Emotional arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis. *Psychophysiology* 35:199-210 (1998)
17. Frahm J, Merboldt K, Hancicke W: Functional MRI of human brain activation at high spatial resolution. *Magn Reson Med* 29:139-144 (1993)
18. Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al: Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA* 87:9868-9872 (1990)
19. Ueda K, Okamoto Y, Okada G, Yamashita H, Hori T, Yamawaki S: Brain activity during expectancy of emotional stimuli: an fMRI study. *Neuroreport* 14:51-55 (2003)
20. Damasio AR: *Descartes' error: emotion, reason, and the human brain*. A Crosset-Putnam Book, New York (1994)
21. Lee JM, Jeong GW, Kim HJ, et al: Qualitative and quantitative measurement of human brain activity using pixel subtraction algorithm. *J Korean Radiol Soc* 51:165-177 (2004)
22. Lee JS, Son KC: Effects of indoor plant and various colors' stimuli on the changes of brain activity and emotional responses. *J Korean Soc Hort Sci* 40:772-776 (1999)
23. Kaya N, Epps HH: Color-emotion associations: past experience and personal preference. *Color and Paints*, Interim Meeting of the International Color Association (2004)
24. Lee SH, Blake R, Heeger DJ: Hierarchy of cortical responses underlying binocular rivalry. *Nat Neurosci* 10:1048-1054 (2007)
25. Lane RD, Reiman EM, Ahern GL, Schwartz GE, Davidson RJ: Neuroanatomical correlates of happiness, sadness, and disgust. *Am J Psychiatry* 154:926-933 (1997)
26. Kaplan JT, Freedman J, Iacononi M: Us versus them: political attitudes and party affiliation influence neural response to faces of presidential candidates. *Neuropsychologia* 45:55-64 (2007)
27. Fletcher PC, Frith CD, Baker SC, Shallice T, Frackowiak RS, Dolan RJ: The mind's eye-precuneus activation in memory related imagery. *Neuroimage* 2:195-200 (1995)
28. Yonelinas AP, Hopfinger JB, Buonocore MH, Kroll NEA, Baynes K: Hippocampal, parahippocampal and occipital-temporal contributions to associative and item recognition memory: an fMRI study. *Neuroreport* 12:359-363 (2001)
29. Bremner JD, Vermetten E, Vythilingam M, et al: Neural correlates of the classic color and emotional stroop in women with abuse-related posttraumatic stress disorder. *Biol Psychiatry* 55:612-620 (2004)
30. Lazar SW, Bush G, Gollub RL, et al: Functional brain mapping of the relaxation response and meditation. *Neuroreport* 11:1581-1585 (2000)
31. Siebert M, Markowitsch HJ, Bartel P: Amygdala, affect and cognition: evidence from 10 patients with urbach-wiethe disease. *Brain* 126:2627-2637 (2003)
32. Bartels A, Zeki S: The neural basis of romantic love. *Neuroreport* 11:3829-3834 (2000)
33. Posner MI, Dehaene S: Attentional networks. *Trends in Neurosci* 17:75-79 (1994)
34. Ross ED: The aprosodias: functional-anatomical organization of the affective components of language in the right hemisphere. *Archives of Neurology* 38:561-569 (1981)
35. Simons JS, Koutstaal W, Prince S, Wagner AD, Schacter D: Neural mechanisms of visual object priming: evidence for perceptual and semantic distinctions in fusiform cortex. *Neuroimage* 19:613-626 (2003)
36. Whalen PJ, Bush G, McNally RJ, et al: The emotional counting stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol Psychiatry* 44:1219-1228 (1998)
37. Davidson RJ, Irwin W: The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends Cogn Sci* 3:11-21 (1999)
38. Davidson RJ, Ekman P, Saron C, Senulis J, Friesen WV: Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology. *I J Pers Soc Psychol* 58:330-341 (1990)
39. Sinha R, Lacadie C, Skudlarski P, Wexler BE: Neural circuits underlying emotional distress in humans. *Ann N Y Acad Sci* 1032:254-257 (2004)
40. Kross E, Egner T, Ochsner K, Hirsch J, Downey G: Neural dynamics of rejection sensitivity. *J Cogn Neurosci* 19:945-956 (2007)

Neuro-Anatomical Evaluation of Human Suitability for Rural and Urban Environment by Using fMRI

Gwang-Won Kim*, Jin-Kyu Song[†], Gwang-Woo Jeong*[‡]

*Interdisciplinary Program of Biomedical Engineering, Chonnam National University,
[†]Architectural Engineering, Chonnam National University, [‡]Department of Radiology,
Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

The purpose of this study was to identify different cerebral areas of the human brain associated with rural and urban picture stimulation using a 3.0 Tesla functional magnetic resonance imaging (fMRI) and further to investigate the human suitability for rural and urban environments. A total of 27 right-handed participants (mean age: 27.3±3.7) underwent fMRI study on a 3.0T MR scanner. The brain activation patterns were induced by visual stimulation with each rural and urban sceneries. The participants were divided into two groups as 26 subjects favorable to rural scenery and 14 subjects unfavorable to urban scenery based on their filled-in questionnaire. The differences of the brain activation in response to two extreme types of pictures by the two sample *t*-test were characterized as follows: the activation areas observed in rural scenery over urban were the insula, middle frontal gyrus, precuneus, caudate nucleus, superior parietal gyrus, superior occipital gyrus, fusiform gyrus, and globus pallidus. In urban scenery over rural, the inferior frontal gyrus, parahippocampal gyrus, postcentral gyrus, superior temporal gyrus, amygdala, and posterior cingulate gyrus were activated. The fMRI patterns also clearly show that rural scenery elevated positive emotion such as happiness and comfort. On the contrary, urban scenery elevated negative emotion, resulting in activation of the amygdala which is the key region for the feelings of fear, anxiety and unpleasantness. This study evaluated differential cerebral areas of the human brain associated with rural and urban picture stimulation using a 3.0 Tesla fMRI. These findings will be useful as an objective evaluation guide to human suitability for ecological environments that are related to brain activation with joy, anger, sorrow and pleasure.

Key Words: Functional magnetic resonance imaging (fMRI), Brain activation, Rural, Urban