

긍/부정 감성자극에 대한 행동활성화체계 및 행동억제체계 민감도에 따른 뇌파의 LORETA 분석

LORETA analysis of EEG responding to positive/negative emotional stimuli for
different sensitivities of behavioral activation and inhibition systems

김원식* · 진승현**

Wuon-Shik Kim* · Seung-Hyun Jin**

한국표준과학연구원 생활계측그룹*

Human Life Measurement Group, Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract : The purpose of the present study was to investigate the responses to positive/negative emotional stimuli for the different sensitivities of behavioral activation system (BAS) and behavioral inhibition system (BIS). We recorded 16-channel EEG data for 8 BAS sensitive subjects and 8 BIS sensitive subjects. EEGs were analyzed with LORETA (Low-resolution electromagnetic tomography). From scalp-recorded electrical potential distribution, LORETA computes the three-dimensional intracerebral distributions of current density for specified EEG frequency bands. As results, significant differences between the BAS sensitive group and the BIS sensitive group appeared LORETA alpha activities over the prefrontal lobe and the cingulate gyrus. Prefrontal regions and limbic system including cingulate gyrus are involved in emotional processing. Moreover, subjects with the high BAS sensitivity responded more sensitively to the positive stimulation than subjects with the high BIS sensitivity. Therefore, our results suggest the possibility of correlation between BAS/BIS sensitivity and positive/negative emotional stimuli.

Key words : EEG, LORETA (Low-resolution electromagnetic tomography), behavioral activation system (BAS), behavioral inhibition system (BIS), positive/negative visual stimuli

요약 : 본 연구에서는 긍정 또는 부정 시각자극이 제시되었을 때, 행동활성화체계(Behavioral Activation System : BAS) 민감 집단과 행동억제 체계(Behavioral Inhibition System : BIS) 민감 집단 사이에 차이가 있는지를 살펴보았다. 실험은 8명씩의 BAS와 BIS 민감 성향을 가진 남자 대학생을 대상으로 이루어졌고, 안정 상태와 국제정서 사진체계(International Affective Picture System)의 긍정/부정 사진자극이 제시되는 동안의 뇌파를 측정하였다. 뇌파의 분석은 뇌 신호원 국소화를 위해, 뇌파의 전기적 신호에 의하여 형성되는 전류밀도에 대한 3차원적인

† 교신저자 : 진승현(한국표준과학연구원 생활계측그룹)

E-mail : shjin@kriss.re.kr

Tel : 042-868-5456

Fax : 042-868-5455

접근방식으로 데이터를 처리하는 방법 중의 하나인 LORETA(Low-resolution electromagnetic tomography)를 사용하였다. 그 결과, 긍정자극제시의 경우, BAS 민감 집단이 BIS 민감 집단에 비해 알파 대역에서 변연계에 포함되는 cingulate gyrus와 전전두엽이 더 활성화되는 반응을 보였다. 이는 BAS 민감집단이 BIS 민감집단에 비해 긍정자극에 대한 반응이 더 민감하고, BAS 또는 BIS라는 인간의 동기체계가 감성자극의 인지와도 관련이 있을 가능성을 시사한다.

주제어 : 뇌파, LORETA(Low-resolution electromagnetic tomography), 행동 활성화체계(BAS), 행동 억제체계(BIS), 긍정/부정 감성자극

1. 서론

인간의 두뇌는 10^{11} 개 정도의 신경세포인 뉴런들로 구성되어 있고, 각 뉴런들은 서로 다른 수천 개의 뉴런들과 서로 연결되어 있다. 이처럼 복잡한 구조를 형성하는 수많은 뉴런들을 통해 인간은 사물, 색깔, 문자 등을 인식하고, 뇌의 활동도 감정 및 인지 활동 등의 다양한 경우에 대하여, 서로 다른 부분들이 주도적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 뇌를 구성하는 부분들에 대한 기능은 살아있는 상태에서 직접적인 검사 방법으로는 얻기 곤란하기 때문에, 뇌파 등과 같은 비침습적인 수단을 이용하여 뇌의 기능을 간접적으로 검사하는 방법이 행하여지고 있다. 뇌의 기능을 간접적으로 검사하는 방법으로는 뇌파의 전류밀도를 측정하거나, 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging : MRI)에 의하여 자기적 성질을 측정하여 컴퓨터를 통하여 다시 재구성함으로써 영상화하는 기술을 사용하는 방법 등이 있다. 이 중에서, 뇌파의 전류밀도를 이용하는 방법은 뇌의 활동을 전기적인 신호로서 인식하여 검사하는 것이다. 이러한 전기 신호는 두피를 통하여 검출할 수 있다. 두피에서 전기신호를 검출하는 방법으로는 전기장을 검출하는 전기뇌파기록기(Electroencephalograph : EEG)와 전기신호에 동반되는 자기장을 검출하는 자기뇌파기록기(Magnetoencephalograph : MEG)가 있다.

이러한 장치들을 이용하여 얻어지는 전기·자기 신호는 뇌 내부 깊은 곳에서 어떤 전기적 활성화가

된 것이 두피에 투영된 정보이지만, 실제 전기적 변화가 일어나는 뇌 부위와 전극 사이의 뇌척수액, 머리뼈, 머리피부, 머리카락 등에 의해서 많은 잡음이 섞이게 되어 실제 전류원에 대한 정확한 정보는 알기 어렵다. 그리고 이때 얻어지는 신호의 경우에도 전극의 숫자에 영향을 받는다. 즉, 머리에 아무리 근접하여 전극을 설치한다고 하여도 전극들 사이에는 빈 공간이 형성되므로 정확한 자료를 얻기에는 문제점이 있다.

따라서, 뇌 내부 깊은 곳에서 실제적으로 활성화되는 곳이 어디인지, 그 전기신호/자기신호가 어떠한 특징을 가지고 있는가에 대하여 연구의 필요성이 제기되었으며, 이러한 연구를 뇌 신호원 국소화(Source localization)라고 한다. 뇌파의 전기적 신호에 의하여 형성되는 전류밀도에 대한 3차원적인 접근방식으로 데이터를 처리하는 방법 중의 하나로써 뇌 신호원 국소화를 위한 알고리즘인 LORETA(Low-resolution electromagnetic tomography)가 있다. LORETA는 신호원 강도의 2차 미분값인 라플라시안을 이용하여 모델항을 만든 것으로, 인근의 신호원들이 비슷한 강도를 가지는 경향을 가지게 하여 연속적인 전류밀도분포를 재구성할 수 있도록 한다. 즉, 두피로부터 측정된 전기적 신호 분포에서 LORETA는 특정 뇌파 주파수 밴드에 대한 전류 밀도의 3차원적인 분포를 계산하는 것이다[27].

LORETA는 Pascal-Margui 등[22,24]이 제안한 이후, 인지과정 연구[26,28]를 비롯해 시각 또는 청각 자극에 대한 피질의 활성화 반응에 관한 연구[22,15,

4) 등에 적용되어 왔다. 또한, 간질 발작 부위의 국소화[31]나 정신분열증의 비정상적인 작용 부위를 찾는 연구[21] 등 임상적인 연구에도 다양하게 적용되고 있다.

본 연구에서는 긍정과 부정 자극이 제시되었을 때, 행동활성화체계(Behavioral Activation System : BAS) 민감도와 행동억제 체계(Behavioral Inhibition System : BIS) 민감도를 가진 그룹들 사이에 차이가 있는지를 살펴보기 위해, LORETA를 사용하였다.

Gray[13]는 생물학적인 기능의 측면에서 성격을 설명하기 위해 해로운 것은 피하고 새로운 것은 탐색하는 기질 특성에 기초하여 개인의 행동과 정서에 기초가 되는 두 가지 동기체계로서 BAS와 BIS를 제안하였다. BAS는 유인가(incentive value)를 추구하여 어떤 과제를 수행시 성공할 경우에 따르는 보상에 민감한 반응을 보이고 열망, 기쁨 등과 같은 긍정적인 감성을 유발하는 데 중요한 역할을 한다. 즉, BAS는 접근하려는 행동을 활성화 시키며, 긍정정서를 경험할 때 야기되는 촉진 자극에 의해 주로 활성화되고, 충동 성향에 대한 인과적 기저로서 작용한다. 반면에 BIS는 어떤 과제를 수행시 실패할 경우의 처벌에 민감하여 부정적 결과가 초래될 가능성이 있는 행동을 억제하고 회피하거나 물러서게 만들며, 혐오나 슬픔 등과 같은 부정적인 감성을 유발하는 데 중요한 역할을 한다[10]. 즉, BIS는 행동 억제를 야기하는 혐오 자극에 의해 활성화되며 불안 성향에 대한 인과적 기저로 작용한다[10,25].

Davidson의 연구 결과를 비롯하여 기존의 여러 연구들은[3,11], 전전두엽 뇌파의 비대칭적 활성화 특성을 이용한 전기 생리적 측면과 BAS/BIS 민감도의 관계를 밝히고자 하였다. Tomarken 등[30]은 기저선 상태의 뇌파를 측정하고 전전두엽의 활성도를 평가하기 위해 알파대역의 전력을 계산하여, 알파대역의 전력으로 부터 구한 전전두엽의 비대칭적 활성화가 성격평가의 지표로 사용될 수 있

음을 입증하였다. 긍정 및 부정감성을 유발시키는 음향자극에 의한 전전두엽의 비대칭적 활성화에 대한 연구에서, 뇌파 전력 스펙트럼 분석을 통하여 긍정 감성이 유발되었을 때는 좌측 전전두엽이 더 활성화 되는 반면에 부정 감성이 유발되면 우측 전전두엽이 더 활성화 되며[2], 특히 알파-2 대역에서 이러한 특징이 잘 반영됨이 밝혀진 바 있다[16].

그러나 이전의 연구에서는 모두 전전두엽에서의 뇌파 활동성만으로 BAS 성향과 BIS 성향을 비교하였다. 본 연구에서는 이러한 제한점에서 벗어나, 다 채널 뇌파의 LORETA 분석을 통한 뇌 신호원 국소화연구를 수행하였다. 특히, BAS와 BIS의 민감도에 따른 긍/부정 시각 감성자극의 반응을 비교하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 피험자

실험은 평균 나이 23.50세의 남자 대학생 16명을 대상으로 하였다. 이들은 모두 약물을 복용중이지 않았고 뇌질환 경험도 없었으며 우측 손잡이 이었다. 실험 참여자들은 모두 본 실험에 대한 동의를 하여 동의서에 서명한 후, 자발적으로 참여하였다. 피험자 구성은 표 1과 같다.

표 1. 피험자 구성

	BAS	BIS
나이	23.50±2.07*	23.50±2.07*
인원수	8	8

* 평균 ± 표준편차

뇌파 분석을 위해서 BAS 성향이 강한 집단과 BIS 성향이 강한 집단으로 구분하였다(그림 1). 이들은 BAS와 BIS 민감성 평가에 참가한 80명의 학생들의 전체 BAS 점수 평균인 35점과 BIS 점수 평균인 18점을 기준으로 하여 구분하였다. BAS 점수는 BAS 평균보다 높고 BIS 점수는 BIS 평균보다 낮

은 참여자는 BAS 민감 집단으로, 반대로 BAS 점수는 BAS 평균보다 낮고 BIS 점수는 BIS 평균보다 높은 집단은 BIS 민감 집단으로 구분하였다.

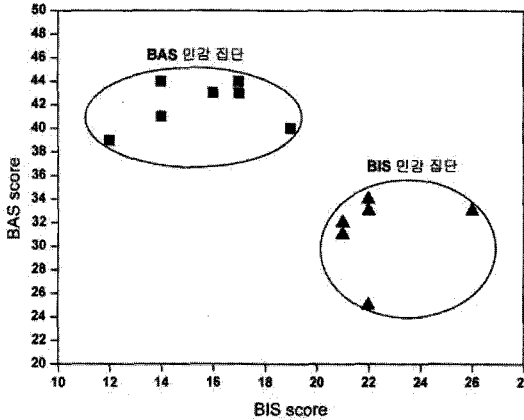


그림 1. BAS 민감 집단(8명 중 2명은 동일 점수)과 BIS 민감 집단(8명 중 3명은 동일 점수)의 BAS/BIS 점수 분포

2.2 실험절차

피험자들은 우선 BAS와 BIS 민감성 평가를 실시하였는데, 이는 Carver 등[10]이 개발하고 김교헌 등 [1]이 번안하여 만든 Likert식 5점 척도의 20개 문항 (BAS 민감성 평가문항 : 13개, BIS 민감성 평가문항 : 7개)을 토대로 이루어졌다.

전체적인 실험 절차는 그림 2와 같다. 심리 평가 (Step1)가 끝나면 피험자에게 실험소개, 유의사항 안내 및 전극부착(Step2)을 하고 난 후, 안정된 상태에서 3분간 뇌파를 측정하였다(Step3). 이때, 1분씩 폐안-개안-폐안 상태를 반복하여 전체 3분간의 안정상태의 뇌파를 얻었다. 10초간 휴식(Step4)을 취하고 나서, 3분간의 긍정자극제시 실험(Step5)을 하였다. 다시 10초간 휴식(Step6)을 하여 주의를 환기시킨 후, 부정자극제시 실험(Step7)을 하였다. 제시자극의 순서효과가 피험자의 감성에 미치는 영향을 배제시키기 위해 긍정감성 유발 제시자극과 부정감성 유발 제시자극 순서를 무작위(random)로 하는 것이 옳다. 그렇지만, 본 연구에 사용된 제시자극은 서양인을 대상으로 제작된 것이어서, 본 실험진행 팀들의 자체평가 결과 긍정감성을 유발시키는 사진들은 자극정도가 약한 반면에 부정감성을 유발시키는 사진들은 그 자극 정도가 매우 강한 것으로 판단되었다. 따라서 부정감성 자극이 긍정 감성 자극에 앞서 제시될 경우, 자칫 유발된 부정감성의 영향으로 긍정감성 유발에 지장을 초래할 가능성이 높으므로, 긍정 감성 자극을 부정감성 자극 앞에 배치하였다.

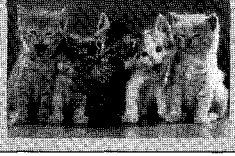

Step1	Step2	Step3			Step4	Step5		Step6	Step7
심리평가	측정준비	3분간			10sec	3분간		10sec	3분간
		C 1분	O 1분	C 1분					
진행 과정 →									
· BAS/ BIS 민감성 평가	· 센서부착 · 적용시간 · 실험안내 · 유의사항 안내	· 안정상태 뇌파측정 C : 폐안 O : 개안			· 휴식	· 긍정자극제시 6초/장 × 30장		· 휴식	· 부정자극제시 6 초/장 × 30장

그림 2. 실험 프로토콜

2.3 제시 자극

시각자극은 국제 감성 사진 시스템(International Affective Picture System : IAPS)에서 선정된 긍정과 부정 각각의 30장의 사진으로 구성되었다. 각 사진은 6초씩 제시하여 전체 3분 동안씩 제시되었다. 제시 자극으로 사용된 IAPS 목록은 표 2와 같다. 그리고 실험 시 순서에 의한 효과를 제거하기 위하여 자극은 무작위로 제시되었다.

긍/부정 감성 유발시 사용된 IAPS 사진은 실험

표 2. 긍/부정 감성 유발시 사용된 IAPS 목록

번호	긍정 감성	부정 감성
1	1440	1120
2	1463	1274
3	1710	1280
4	1999	1930
5	2030	2100
6	2040	2120
7	2070	2661
8	2091	2800
9	2391	3010
10	4603	3053
11	5001	3060
12	5010	3140
13	5200	3150
14	5201	3350
15	5220	3400
16	5260	6230
17	5480	6370
18	5730	6550
19	5750	8230
20	5760	8480
21	5780	9080
22	5820	9140
23	5891	9320
24	8170	9440
25	8190	9570
26	8200	9611
27	8210	9622
28	8260	9630
29	8350	9920
30	8500	9921

진행 팀의 자체평가를 통해 긍정감성 및 부정감성을 각각 가장 잘 유발시킬 수 있는 것들로 선정하였고, 이 사진들의 감성유발 차이는 각 피험자들에 대하여 뇌파측정 실험 후 곧바로 9점 척도의 주관적 평가를 통해 검증하였다. 긍정감성 유발 사진에 대한 주관적 평가 점수 분포(평균±표준편차 : 6.77±0.54)와 부정감성 유발 사진에 대한 주관적 평가 점수 분포(평균±표준편차 : 2.97±0.85) 사이에는 유의한 차이가 있었다(P = 0.000).

2.4 뇌파측정

뇌파는 국제 10-20 전극법으로 배치한 F7, T3, Fp1, F3, C3, P3, O1, T5, F8, T4, Fp2, F4, C4, P4, O2, T6에서 측정하였고(그림 3), 기준전극은 양쪽 귓볼로 하는 단극 유도법을 사용하였으며, 장비는 GRASS Neurodata Amplifier System 15A54(Astro-Med, Inc)와 MP-100(BIOPAC SYSTEM)을 사용하였다. 측정 샘플링 주파수는 512Hz이고, 분석에는 256 Hz로 재샘플링한 데이터를 사용하였다.

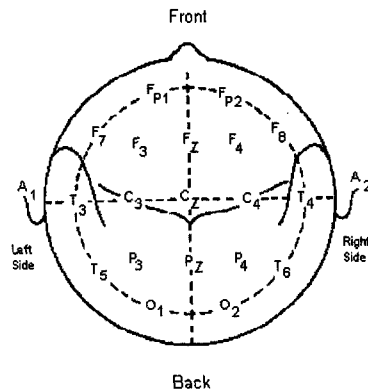


그림 3. 국제 10-20 전극법에 의한 전극배치

3. 분석 방법

3.1 잡음 제거

본 연구에서 긍정과 부정 자극은 시각적으로 제시

되었기 때문에, 측정된 뇌파에는 눈깜박임 잡음이 섞이게 된다. 따라서 뇌파 분석에 앞서 독립성분분석(Independent Component Analysis : ICA)을 통해 눈깜박임 잡음을 제거하였다. 잡음제거를 위해 사용한 ICA는 Bell과 Sejnowski[8]가 제안한 'Infomax' 알고리즘에 의거한 방법을 사용하였다. 뇌파 분석을 위해 매우 중요한 문제 중 하나인 잡음 제거 문제에 있어서, ICA를 이용한 잡음제거 방법은 적은 계산 비용으로 유용하게 적용 가능한 방법임이 입증되었다[19]. 이에 본 연구에서는 ICA를 이용하여 눈깜박임 잡음을 제거하였다.

그림 4는 한 실험참여자의 개인 안정 상태에서 16초 동안 측정된 뇌파를 보여준다. 이때, 4초, 10초, 15초 근방에서 눈깜박임 잡음이 혼입된 사실을 확인 할 수 있다.

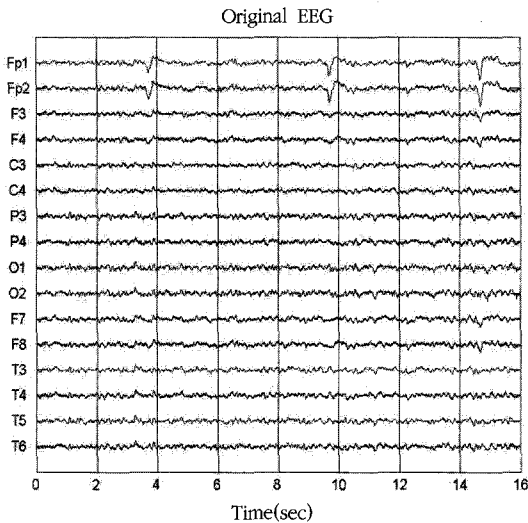


그림 4. 한 실험 참여자의 개인 안정 상태 16초 동안의 뇌파

이렇게 눈깜박임 잡음이 혼입된 뇌파를 ICA를 거치면 그림 5의 좌측과 같은 독립 성분을 얻게 된다. 이때, 제 1번 독립 성분에 눈깜박임 잡음이 분리되어 나왔음을 확인 가능하고, 제 1번 독립 성분을 매핑해 보면 전전두엽 채널에서 발생된 신호임을 더욱 확실히 알 수 있다. 따라서 제 1번 독립 성분을 제거하면 눈깜박임 잡음을 제거할 수 있게 된다.

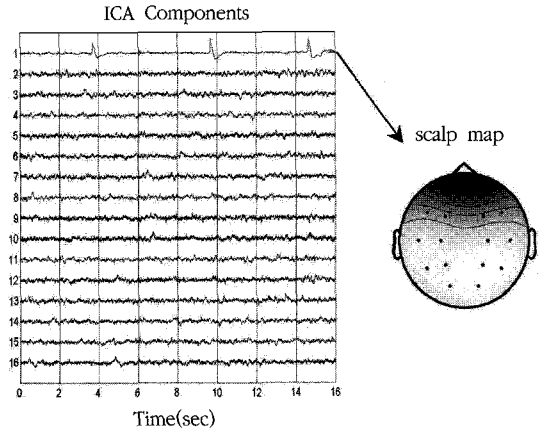


그림 5. 그림 4의 뇌파에 대한 독립 성분과 제 1번 독립 성분에 대한 매핑

그림 5에서 확인한 눈깜박임 잡음인 제 1 독립 성분을 제거하면 그림 6과 같이 잡음이 제거된 뇌파를 얻게 된다. 이와 같은 과정을 거쳐, 잡음이 제거된 뇌파를 가지고 LORETA 분석을 하였다.

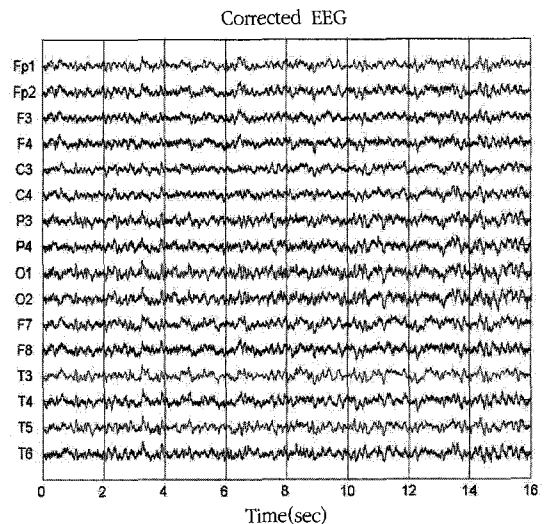


그림 6. 그림 4의 뇌파에서 눈깜박임 잡음을 제거한 후의 뇌파

3.2 LORETA

본 연구에서는 뇌파의 전기적 신호원 국소화를 위한 알고리즘인 LORETA 방법을 사용하였다. LORETA는 뇌 신호원을 국소화하는 데 있어, 특정한 소스

(source)의 개수를 요구하는 등의 제한은 없고, 다만 서로 인접한 뉴런 소스들(neuronal sources)은 유사한 근원(orientation)과 세기(strength)를 갖는다는 유일한 가정 하에 이루어진다. 이러한 가정은 동물의 단일 뉴런 실험에 의해 지지되며[20], 3차원적으로 연속적인 전류밀도를 가지도록 재구성이 가능하다. 이 알고리즘은 기본 시각/청각 과정[22]이나 인지 과정[26,28] 연구에 적용되어 생리학적인 유용성이 검증되었다.

본 연구에서 사용된 LORETA[26,23,24] 계산은 Talairach 뇌지도[29]에 의거해 대뇌 피질 중 회백질(gray matter)과 해마(hippocampus) 부분으로 제한된다. 전체 공간은 2,394개의 복셀(voxel)로 구성되었고, 공간 분해능은 7mm이다. 분석시 head model은 Ary[6]의 three shell sphere로 구성되며, 이는 fMRI 분석시에도 적용되는 Talairach 뇌지도[29]에 의거해 기록하도록 되어 있다.

LORETA 분석은 대략적으로 다음과 같은 과정을 거친다. 우선, 잡음이 제거된 뇌파를 표 3과 같이 구분한 주파수 대역에 대하여 cross spectrum 분석을 한다. 이어서 두피로부터 측정된 전기적인 포텐셜의 선형적이고 가중된 합으로 전류 밀도를 계산한다. 이때 신호원 강도의 2차 미분 값인 라플라시안을 이용한 모델함에 의거, 인근의 신호원들이 비슷한 강도를 가지는 경향을 가지게 하여 연속적인 전류밀도분포를 재구성한다. 다음으로 이 값들을 제공하여 각 단위 복셀에 대한 전류 밀도 파워를 계산하게 된다. 좀 더 자세한 LORETA 분석 알고리즘은 이전의 연구 논문[22,24] 등을 통해 얻을 수 있다.

주파수 영역에서의 LORETA 분석을 위해 표 3과 같이 주파수 대역을 구분하였다.

비교하는 두 그룹 간의 차이를 보기 위해, '2,394개 모든 복셀 간의 차이는 없다'는 영가설(null-hypothesis)하에서 뇌영상 데이터 비교 방법으로 제안된 무작위화 과정(randomization procedure)을[5,14] 통해 유의성을 검증하였다. 이 과정은 원

표 3. 주파수 대역 구분

주파수	대역 (Hz)
델타	1.0-4.0
세타	4.0-7.5
알파	7.5-12.5
알파1	7.5-10.0
알파2	10.0-12.5
베타	12.5-30.0
베타1	12.5-20.0
베타2	20.0-30.0

래의 비교 그룹 성분들을 대상으로, 새로운 그룹을 형성하는 것으로 시작된다. 원래의 비교 그룹 성분의 1/2 이상을 포함하면서 무작위적으로 섞이도록 새로운 그룹을 만들어, 2,394개의 복셀을 비교하는 과정을 반복적으로 수행하게 된다. 각 반복 시행시마다 가장 큰 t 값을 저장하면서, 이 과정을 5,000회 반복한 후 P 값이 0.05 이하가 되도록 t-값 분포의 상위 5%되는 값을 임계값으로 취하게 된다. 그리고, 이 임계 t-값 이상에 해당하는 복셀은 통계적으로 유의한 차이를 주는 뇌 신호원 발생원으로 볼 수 있게 된다.

본 연구에서는 이러한 무작위화 과정을 통해 모든 비교 쌍에 대한 유의성 검증을 하였다. 즉, 각 주파수 대역에 대하여 BAS/BIS 각 성향의 집단 내 유의성(안정 상태 vs. 자극 제시 상황)과 집단 간 유의성(동일한 자극 제시 상황하에서 BAS vs. BIS)을 검증하기 위해 통계분석을 하였으며, $P < 0.05$ 인 경우만 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 해석하였다.

4. 결과

BAS 민감 집단과 BIS 민감 집단 간의 비교에서 긍정자극제시의 경우 알파대역에서 유의한 차이가 발견되었다. $P < 0.05$ 인 t값의 임계값은 2.78이고, 60개의 복셀이 유의한 것으로 나타났다. 이 중 t값이 높은 5개의 복셀에 대한 정보는 표 4와 같다.

표 4. 긍정자극제시시 알파대역에서 BAS 민감 집단과 BIS 민감 집단 간 유의한 차이를 보이는 위치

t값	Talairach 좌표 (mm)			Region (Gyrus)	BA	Side
	X	Y	Z			
2.97	4	18	32	Cingulate	32	R
2.97	-38	11	26	Middle Frontal	9	L
2.97	-51	18	32	Middle Frontal	9	L
2.97	-3	11	26	Anterior Cingulate	33	L
2.97	-3	18	32	Cingulate	32	L

BA : Brodmann's Area

그림 7과 8은 유의한 차이를 보여주는 주파수 발생 신호원의 위치를 보여주는 영상이다. 그림 7은 시선 기준으로 위쪽, 측면, 뒤쪽 방향에서 바라보았을 때의 뇌의 단면을 보여준다. 붉은 색으로 표시된 부분이 $P < 0.05$ 로 유의한 차이를 보여주는 복셀들을 표시한 것으로 scale bar는 그림 8에 표시된 것과 동일하다. 그리고, scale bar는 t값의 분포에

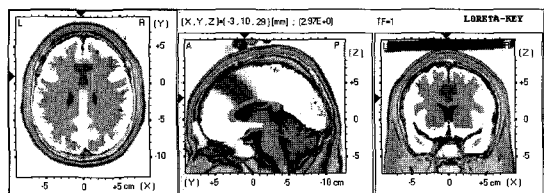


그림 7. 유의하게 활성화된 부위의 단면도

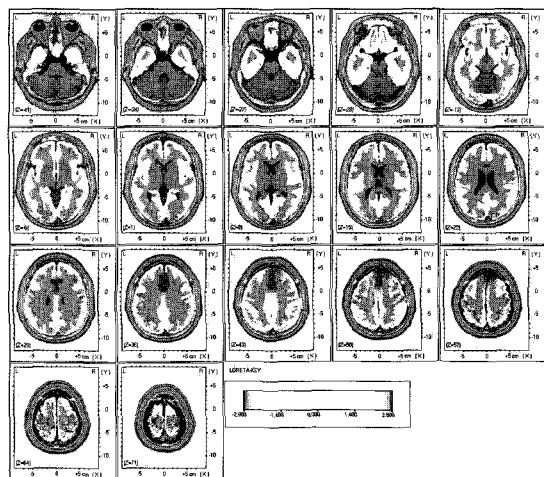


그림 8. 위쪽에서 바라보았을 때의 전체 단면도

따른다. 긍정자극제시의 경우, 이 부위들에서 BAS 민감 집단이 BIS 민감 집단에 비해 더 활성화되는 반응을 나타냄을 의미한다. 유의한 차이를 보이는 복셀의 위치는 주로 BA 32, 33에 해당하는 cingulate gyrus와 BA 9에 해당하는 전전두엽에 해당하는 부위[12]임을 확인 할 수 있다.

5. 논의

부정자극의 경우에는 BAS 민감 집단과 BIS 민감 집단 간에 유의한 차이가 발견되지 않았다. 반면, 긍정자극제시의 경우, 알파대역에서 BAS 민감 집단과 BIS 민감 집단 간에 유의한 차이가 발견되었다. 즉, 긍정자극제시의 경우, BAS 민감 집단이 BIS 민감 집단에 비해 BA 32, 33에 해당하는 cingulate gyrus와 BA 9에 해당하는 전전두엽이 더 활성화되는 반응을 나타내었다.

BAS 민감도는 높고, BIS 민감도는 낮은 집단은 유인가 추구를 위한 행동활성화체계가 상대적으로 강한 집단이다[1]. 따라서 BAS 민감 집단이 BIS 민감 집단에 비해 긍정자극에서 좀 더 민감한 반응을 보인 것으로 해석 가능하다.

전전두엽은 감각을 인지하는 데는 관여하지 않고, 감각과 연관된 정서(affection)에 관여하여, 인간이 느끼는 감정의 깊이를 조절하는 부위로 알려져 있다[12]. 또한, 전전두엽은 기억, 통찰력, 또는 예측과 같은 인간의 고등 인지 기능과 연관이 깊은 부위로서, 감성적인 결정과 인지 과정과 연관이 깊다[7].

특히, 주목할 만한 결과는 BA 32, 33에 해당하는 cingulate gyrus 부분이 유의하게 활성화된 것이다. Cingulate gyrus는 변연계(Limbic system)에 포함되는 영역이다. 변연계는 감각입력을 받아들이는 부분으로[17,18], 감성자극의 통로이다. LeDoux에 의하면 변연계는 감성 자극을 전달하는 통로의 역할과 함께, 시각 감성자극의 직접적인 수용이 이루어진다고 하였다[17]. 또한 긍정자극에 대한 anterior

cingulate의 반응은 개인적 기질(personal trait)의 함수로서 변화한다는 보고도 있다[9].

이러한 연구 결과들을 종합하면, BAS 민감 집단이 BIS 민감 집단에 비해 전전두엽과 cingulate gyrus에서 긍정자극에 민감하게 반응하는 결과는 BAS라는 성향이 긍정감성을 인지하는 데 있어 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다. 이는 BAS 민감 집단이 BIS 민감집단에 비해 긍정자극에 대한 반응이 더 민감하고, BAS 또는 BIS라는 인간의 동기체계가 감성자극의 인지와의 관련이 있을 가능성을 시사한다.

6. 결론

본 연구에서는 긍정과 부정 감성 자극이 제시되었을 때, BAS 민감 집단과 BIS 민감 집단 사이에 차이가 있는지를 살펴보았다. 이를 위해, 뇌파의 전기적 신호에 의하여 형성되는 전류밀도에 대한 3차원적인 접근방식으로 데이터를 처리하는 방법 중의 하나로서, 뇌 신호원 국소화를 위한 알고리즘인 LORETA를 사용하였다. 따라서 본 연구는 BAS/BIS라는 인간의 동기체계를 연구함에 있어, 뇌파 측정을 통한 뇌 신호원 국소화라는 방법을 사용한 첫 시도라는 데 의의가 있다.

그 결과, LORETA의 적용을 통해, BAS/BIS 민감 성향과 긍/부정 감성의 인지 사이에 연관성이 있음을 밝혔다. LORETA는 뇌파의 측정 채널수가 많을수록 좀 더 정확한 뇌 신호원 추정이 가능하다. 따라서, 향후에는 공간 분해능을 높일 수 있도록 현재보다 더 많은 채널을 이용한 뇌파 측정과 더 많은 피험자의 확보를 통해 보다 더 세밀한 뇌 신호 발생원 추정이 이뤄져야 할 것이다.

참고문헌

[1] 김교현, 김원식 (2001). 한국판 행동 활성화 체계 및 행동 억제 체계(BAS/BIS) 척도. 한국심리학회

지: 건강, 6(2), 19-37.

- [2] 김원식 (2003). 음향에 의해 유발된 감성에 의한 전전두엽의 비대칭적 활성화, 연세대학교대학원 박사학위논문.
- [3] 김원식, 장은혜, 이지혜, 이상태 (2005). 음향감성에 의한 전전두엽의 비대칭성과 심박동 변이도. 감성과학, 8(1), 47-54.
- [4] Anderer, P., Pascual-Marqui, R. D., Semlitsch, H. V., & Saletu, B. (1998). Electrical source of P300 event-related brain potentials revealed by low resolution electromagnetic tomography. 1. Effects of normal aging. *Neuropsychobiology*, 37, 20-27.
- [5] Arndt, S., Cizadlo, T., Andreasen, N. C., Heckel, D., Gold, S., & O'Leary D. S. (1996). Tests for comparing images based on randomization and permutation methods. *Journal of Cerebral Blood Flow Metabolism*, 16, 1271-1279.
- [6] Ary, J. P., Klein, S. A., & Fender, D. H. (1981). Location of sources of evoked scalp potentials: corrections for skull and scalp thickness. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 28, 447-452.
- [7] Bechara, A, Tranel, D., Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesion. *Brain*, 123, 2189-2202.
- [8] Bell, A. J., & Sejnowski, T. J. (1995). An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. *Neural Computations*, 7, 1129-1159.
- [9] Canli, T., Amin, Z., Haas, B., Omura, K., & Constable, R. T. (2004). A double dissociation between mood states and personality traits in the anterior cingulate. *Behavioral Neuroscience*, 118, 897-904.
- [10] Carver, C. S., & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective response to impending reward and punishment:

- BIS/BAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 219-333.
- [11] Davidson, R. J. (2000). Affective style, psychology, and resilience: Brain Mechanism and Plasticity. *American Psychologist*, 55(11), 1193-1214.
- [12] Gazzaniga, M.S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2002). *Cognitive Neuroscience, The biology of the mind*. 2nd eds W.W. Norton & Company, Inc., New York, London.
- [13] Gray, J. A. (1990). Brain systems that mediate both emotion and cognition. *Cognition and Emotion*, 4, 269-288.
- [14] Holmes, A. P., Blair, R. C., Watson, J. D. G., & Ford, I. (1996). Non-parametric analysis of statistic images from functional mapping experiments. *Journal of Cerebral Blood Flow Metabolism*, 16, 7-22.
- [15] Khateb, A., Michel, C. M., Pegna, A. J., Thut, G., Landis, T., & Annoni, J. M. (2001). The time course of semantic category processing in the cerebral hemispheres: an electrophysiological study. *Cognitive Brain Research*, 10, 251-264.
- [16] Kim, W. S., Yoon, Y. R., Kim, K. H., Jho, M. J., & Lee, S. T. (2003). Asymmetry activation in the prefrontal cortex by sound-induced affects. *Perceptual and Motor Skills*, 97, 847-854.
- [17] LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain: the mysterious underpinning of emotional life*. NY: Touchstone.
- [18] LeDoux, J. E. (2000). Cognitive-emotional interactions: Listen to the brain. In R. D. Lane & L. Nadel (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion*, New York, Oxford university press.
- [19] Lee, T. W. (1998). *Independent Component Analysis: Thoery and Application*. Kluwer Academic Publisher.
- [20] Llinas, R. R. (1988). The intrinsic electrophysiological properties of mammalian neurons: Insights into central nervous system function. *Science*, 242, 1654-1664.
- [21] Mulert, C., Gallinat, J., Pascual-Marqui, R., Dorn, H., Frick, K., Schlattmann, P., Mientus, S., Hermman, W. M., & Winterer, G. (2001). Reduced event-related current density in the anterior cingulate cortex in schizophrenia. *Neuroimage*, 13, 589-600.
- [22] Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electrimagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 18, 49-65.
- [23] Pascual-Marqui, R. D. (1999). Reviews of methods for solving the EEG inverse problem. *Int. J. Bioelectromagnetism*, 1, 75-86.
- [24] Pascual-Marqui, R. D., Lehmann, D., Koenig, T., Kochi, K., Merlo, M.C.G., Hell, D., & Koukkou, M. (1999). Low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA) functional imging in acute, neuroleptic naive, first-break, productive schizophrenics. *Psychiatry Res. Neuroimaging*, 90, 169-179.
- [25] Pickering, A. D., & Gray, J. A. (1999). *The neuroscience of personality*. New York, The Guilford Press.
- [26] Pizzagalli, D., Lehmann, D., Koenig, T., Regard, M., & Pascual-Marqui, R. D. (2000). Face-elicited ERPs and affective attitude: brain electric microstate and tomography analyses. *Clinical Neurophysiology*, 111, 521-531.
- [27] Pizzagalli, D., Pascual-Marqui, R. D., Nitschke, J. B., Oakes, T. R., Larson, C. L., Abercrombie, H. C., Schaefer, S. M., Koger, J. V., Benca, R. M., & Davidson, R. J. (2001). Anterior cingulate activity as a predictor of degree of treatment response in major depression: Evidence from brain electrical tomography analysis. *American Journal of Psychiatry*, 158, 405-415.
- [28] Strik, W. K., Fallgatter, A. J., Brandeis, D.,

- Pascual-Marqui, R. D. (1998). Three-dimensional tomography of event-related potentials during response inhibition: evidence for phasic frontal lobe activation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 108, 406-413.
- [29] Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: Three-dimensional proportional system*. Stuttgart, Germany, Georg Thieme.
- [30] Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. E., & Kinney, L. (1992). Psychometric properties of resting anterior EEG asymmetry: temporal stability and internal consistency. *Psychophysiology*, 29, 576-592.
- [31] Worrell, G. A., Lagerlund, T. D., Sharbrough, F. W., Brinkmann, B. H., Busacker, N. E., Cicora, K. M., & O'Brien, T. J. (2000). Localization of the epileptic focus by low-resolution electromagnetic tomography in patients with a lesion demonstrated by MRI. *Brain Tomography*, 12, 273-282.

원고접수: 2005. 11. 18

수정접수: 2005. 12. 10

게재확정: 2005. 12. 11