

남자고등학교 교실냄새에 대한 뇌파반응

Electroencephalography Activities Influenced by Classroom Smells of Male High School

류현* · 고우형* · 김정우* · 김수린* · 김민경**†

Hyun Ryu* · WooHyong Ko* · JongWoo Kim* · SooRin Kim* · Min Kyung Kim**†

*서울고등학교

*Seoul High School

**송실대학교 화학공학과

**Department of Chemical Engineering, Soongsil University

Abstract

In this study, the influence of classroom smells (foot odor, hair smell, sour smell, and sweat smell) of male high school and sweat smell and the offensive odor substance (ammonia and butyric acid) on the electroencephalography (EEG) activities of 20 female volunteers, ranging in age from 30 to 50 were studied. The representative response of brainwave index by these smells stimuli was most pronounced on temporal lobes among the brain lobes. By comparison with background EEG activities on temporal lobes, the smells reduced the relative alpha band power (0.04~0.13) and increased the relative beta band power (0.02~0.06) and the relative gamma band power (0.03~0.09). The alpha wave was deactivated, high beta (18~30Hz) and gamma (30~50Hz) waves were remarkably activated. The order of EEG fluctuation caused by the smell stimulus is as follows; hair smell > butyric acid > foot odor, sour smell > ammonia > sweat smell. It means that the classroom smells cause an excessive brain arousal and straining and may be reducing one's attention and learning ability.

Key words : classroom smells, foot odor, hair odor, EEG, male high school.

요약

남자고등학교 교실에서 발생하는 냄새(발냄새, 머리냄새, 땀냄새, 발냄새)와 대표악취물질(부티르산, 암모니아)에 대한 뇌파반응을 분석하였다. 냄새자극 시험은 30~50대의 여성을 대상으로 수행하였다. 교실냄새와 대표악취물질의 자극에 대한 뇌파 지표들의 변화 경향은 측두엽에서 가장 두드러지게 나타났다. 이들 악취물질의 측두엽에서 반응은 바탕뇌파대비 상대알파파를 0.04~0.13 감소시켰고, 상대베타파 0.02~0.06, 상대감마파를 0.03~0.09 증가시켰다. 교실냄새들과 두 악취물질들은 이완상태를 나타내는 알파파를 감소시켰고, 각성과 긴장 및 스트레스를 나타내는 고베타파(18~30Hz)와 불안과 흥분상태를 나타내는 감마파(30~50Hz)를 활성화시켰다. 냄새물질들의 뇌 각성 및 자극정도는 머리냄새 > 부티르산 > 발냄새, 땀냄새 > 암모니아 > 발냄새 순이었다. 이러한 결과는 교실냄새가 과도한 각성이나 긴장을 유발하므로 수업 집중력이나 학습능력을 저해할 수 있음을 의미한다.

주제어 : 교실냄새, 발냄새, 머리냄새, 뇌파분석, 고등학생

† 교신저자 : 김민경 (송실대학교 화학공학과)

E-mail : nadya4567@ssu.ac.kr

TEL : 02-828-7042

FAX : 02-821-4192

1. 서론

신진대사가 왕성하고 활동이 많은 남학생이 집단으로 모여 있는 남자고등학교 교실은 땀냄새, 발냄새, 머리냄새, 입냄새, 뉘냄새 등의 불쾌한 교실냄새가 자주 발생한다. 이러한 교실냄새는 학생과 교사들이 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 수업분위기를 흐릴 수 있다.

땀냄새와 발냄새를 유발하는 주요 원인물질은 부티르산(butyric acid) 및 발레르산(valeric acid) 등이며(Caroprese et al., 2009; Natsch et al., 2003; Munk et al., 2000; Goetz et al., 1988), 입냄새의 주요 원인물질은 황화수소 및 메틸메르캅탄 등과 같은 황화계 악취물질과 트리메틸아민으로 알려져 있다(Whittle et al., 2007; Kanda et al., 1990). 이러한 악취물질들은 인간의 후각시스템을 자극할 뿐 만 아니라 불쾌감을 유발하는 감각공해물질이다. 또한, 악취물질은 인간의 집중력, 판단력 및 활동에까지 영향을 미쳐 작업(학습) 효율까지 저하시키는 것으로 알려져 있다(Millot et al., 2002).

냄새를 평가하는 방법은 크게 사람이 직접 냄새를 맡아 평가하는 관능법과 냄새를 유발하는 화합물 성분 분석을 가스크로마토그래피로 분석하는 기기분석법으로 구분하고 있다(Pander & Kim, 2011). 그런데 최근에는 뇌인지 과학의 발달로 생체신호 중 하나인 뇌전도(electroencephalography, EEG) 신호 분석을 냄새 평가에 활용하고 있다(Lorig, 2000). EEG는 뇌의 뉴런이 서로 정보를 주고받는 과정에서 발생하는 이온들의 신호이다. 신경조직이 전도성 매질에 둘러싸여 있기 때문에 발생된 전류는 피부표면까지 형성되고, 전류는 음의 법칙에 의해 나타나므로 이들의 전위(electric potential)를 측정할 수 있다(강근과 이형, 2002; Kandel et al., 2000).

EEG 신호를 활용한 냄새가 인간에 미치는 영향에 관한 연구로 라벤다향, 레몬향 등 7가지 향기에 의한 인간의 반응 차이를 보여주는 EEG 신호 map이 보고된 바 있다(Klemm et al., 1992) 다양한 연구진들이 다양한 종류의 향과 악취물질을 대상으로 주관적 선호도나 정서적 반응 등을 EEG 신호로 해석하려는 연구들을 진행해 왔다(Terauchi et al., 1996; 강근과 이형, 2002; 신흠 등, 2009; 민병찬 등, 2001; 백은주 등, 1998). 또한 Bell 등(1998)은 화학약품 냄새에 대해 거부감과 두통을 호소하는 민감한 그룹과 그룹간의 EEG 신호 특성 차이를 연구하였

다. Bensafi 등(2003)은 사람의 선호도와 EEG 신호로 뇌의 반응을 종합적으로 고찰하여 과학적인 측면에서 냄새를 평가하기도 하였다. EEG를 활용한 냄새에 대한 뇌인지 연구는 특정 약품이나 식물 향을 대상으로 연구가 대부분으로, 실생활에서 접하는 냄새 유발원을 대상으로 한 연구는 그리 많지 않다.

본 연구에서는 남자고등학교 교실냄새가 뇌에 미치는 영향을 생리신호인 뇌파를 통해 정량적으로 규명하고자 땀냄새, 발냄새, 머리냄새, 및 뉘냄새 등 4종류의 교실냄새와 1% 부티르산과 2.5% 암모니아를 대표 악취물질로 선정하여 이들 냄새들이 EEG에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 피시험자

피시험자는 냄새에 민감한 30~50대 여성(42.8±5세)을 대상으로 정하였다. 현재 선생님의 비율이 중학교는 68.7%, 고등학교는 57.5%가 여자선생님이므로 피시험자를 여자로 선정했다(교육과학기술부, 2012). 피시험자는 신경학 또는 정신질환 병력이나 후각 장애 또는 인지 장애가 없는 자를 대상으로 악취공정시험방법에서 제시하는 판정인 선정시험을 통과하고 실험참여에 사전 동의한 후보자들 중 바탕뇌파가 정상적인 20명을 선정하였다(국립환경과학원, 2005). 피시험자들은 실험 당일 향수와 화장품의 사용을 금지시켰고, 후각에 영향을 줄 수 있는 음주 및 카페인 섭취도 금지시켰다.

2.2. 실험자극

남자고등학교 교실냄새(발냄새, 땀냄새, 머리냄새, 뉘냄새)와 대조군으로 라벤다향을 준비하였다. 교실냄새를 모사하기 위하여 발냄새는 남자 고등학생이 6개월 이상 착용한 운동화, 땀냄새는 운동 한 후 땀에 젖은 티셔츠, 뉘냄새는 습한 상태에서 3일 동안 실온에서 보관한 걸레를 각각 사용하였으며 머리냄새는 3일 동안 감지 않은 남학생의 머리를 사용하였다. 머리냄새를 제외한 교실냄새 유발원은 시험기간 동안 일정한 냄새를 유지하기 위하여 비닐봉지에 밀폐하여 보관하며 사용하였다. 또한 1% 부티르산과 2.5% 암모니아를 대표 악취물질로 사용하였다.

Table 1. Frequency band and index

Brain index	Power spectrum or frequency (Hz)	State of mind
ATP(Absolute total power)	PS(4~50Hz)	EEG activities
RT (Relative theta power value)	PS(4~8Hz)/PS(4~50Hz)	meditation, being sleepy, hallucinations,
RA (Relative alpha power value)	PS(8~13Hz)/PS(4~50Hz)	relaxation, calm state, light hypnotic, depressed
RB (Relative beta power value)	PS(13~30Hz)/PS(4~50Hz)	an "active" state, awareness
RG (Relative gamma power value)	PS(30~50Hz)/PS(4~50Hz)	memory, learning, reminiscence, selective concentration,
RSA (Relative slow alpha)	PS(8~11Hz)/PS(4~50Hz)	relaxation, rest, predormition
RFA (Relative fast alpha)	PS(11~13Hz)/PS(4~50Hz)	calming, concentration, creative, states,
RLB (Relative low beta)	PS(12~15Hz)/PS(4~50Hz)	attention, vigilance,
RMB (Relative mid beta)	PS(15~20Hz)/PS(4~50Hz)	the active awareness
RHB (Relative high beta)	PS(20~30Hz)/PS(4~50Hz)	anxiety, stress, tension, mental strain
RSMT (Ratio of RLB~mid beta to theta)	PS(12~20Hz)/PS(4~8Hz)	slow β/θ : attention
RAHB (Ratio of alpha to high beta)	PS(8~13Hz)/PS(20~30Hz)	calm, relaxation
SEF50 (Spectral edge frequency 50%)	Median frequency (Hz)	creative, pleasant, concentration
SEF90 (Spectral edge frequency 90%)	Hz	mental strain, stress
ASEF50 (Spectral edge frequency 50% of alpha spectrum band)	Hz	fast α current appearance, awareness

where PS: power spectrum.

2.3. 실험 방법

실험은 소음, 빛 등과 같은 외부 환경조건의 영향을 배제하기 위해 방음시설을 갖춘 2 m x 2 m x 2.5 m 크기의 후각 챔버에서 수행하였다.

후각 챔버는 흡기와 배기시설을 갖추어 내부에서 자극물 냄새 외에 다른 냄새가 축적되지 않도록 하였고, 온도(22~24℃), 습도(40~50%), 조도(150~200 Lx)를 유지하였다. 피험자가 후각챔버 환경에 익숙하도록 일정한 시간 경과 후에 바탕뇌파를 측정하였다.

바탕뇌파는 무자극 상태에서 눈을 감은 피험자의 뇌파를 60초 동안 측정하였으며, 각 피험자마다 3회 반복 측정하였다. 수집된 뇌파파형을 관찰하여 피험자의 눈 움직임이나 안면근육 수축 등에 의한 잡파 유입여부를 확인하였다. 잡파가 유입된 경우에는 바탕뇌파를 재측정 하였고, 몸의 움직임이 없음에도 불구하고 뇌파파형이 안정되지 않고 요동치는 피험자는 배제시켰다. 수집된 바탕뇌파는 Table 1의 각종 뇌파 지표 분석을 통해 정상적인 바탕뇌파(후두엽 부분에

서 알파파가 많고, 양 측두엽 부위에서는 상대적으로 다른 부위보다 적으면서 좌/우 대칭이 유지된 패턴) 여부를 판단하였다(락싸, 2013).

정상적인 바탕뇌파가 측정된 피험자를 대상으로 냄새자극 시험을 수행하였다. 10초간 안정된 상태에서 눈을 감은 후 냄새물질을 묻힌 시향지(1 cm x 10 cm)나 교실냄새 유발원을 코로부터 3cm 정도 떨어진 곳에 위치한 후 3초간 냄새를 맡게 한 후 20초 동안 뇌파를 수집하였다. 냄새자극은 임의의 순서로 제시하였고, 냄새자극을 가한 후 최소 5분 이상 휴식을 취하게 하여 후각세포의 냄새순응 효과를 방지 하였다.

뇌파는 전산화 뇌파측정기 PolyG-I system (LAXTHA Inc., Korea)장비를 이용하여 측정하였다.

2.4 뇌파 측정

피시험자의 뇌파는 256Hz 샘플링 주파수, 0.5~50Hz의 통과필터, 12-bit AD변환에 의해 컴퓨터로 저장되었다. 머리표면 총 8부위에서 모노폴라 방식으로 뇌파를 측정하였으며, 10/20-국제전극배치법에 의해 총 8 부위(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, O2)에 측정전

극을 부착하였다. 기준전극은 A1, A2 접지전극을 부착하였다.

사용된 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크전극이며, 피부와의 접촉저항을 최소화하기 위해 먼저 알코올 솜을 이용하여 머리표면의 이물질을 닦아낸 후 접시전극에 뇌파전용 전극 풀을 묻혀 부착하였다. 또한 부착된 접시전극위에 거즈를 덮어 머리표면에 잘 고정되도록 처치하였다. 뇌파측정은 조용한 환경에서 피시험자의 움직임을 통제된 상태에서 시행되었다. 눈 움직임을 의한 잠음혼입을 막기 위해 측정 시 피검자가 눈을 감도록 하였다. 냄새자극이 없는 바탕 뇌파는 눈을 감은 후 안장상태에서 1분 동안 뇌파 data를 수집하였다.

2.5. 분석방법

냄새자극에 따라 수집된 뇌파 데이터는 TeleScan™ (Ver.2.99) 프로그램을 이용하여 분석하였다

안면근육의 움직임에 따라 발생하는 안전도 영향을 많이 받는 주파수 대역인 델타파(0-4Hz)를 제거 후 나머지 측정 데이터를 FFT(Fast Fourier Transform)의 알

고리즘을 이용하여 주파수 대역 별 상대 출현량 (relative value) 구하고, Table 1과 같은 주파수 대역에서 각각의 뇌파 지표들을 분석하였다. 냄새자극에 의한 각종 뇌파지표들의 변화값은 냄새자극 시 뇌파 지표값과 바탕뇌파 뇌파지표 값의 차이로 구하였다.

통계프로그램은 SAS 9.2를 사용하여 repeated measure one-way ANOVA분석을 실시하였고, 95% 유의수준에서 Dunnett test 통해 사후검증을 하였다.

3. 결과

바탕뇌파에 대한 주파수대역별 상대뇌파 값(relative band powers)과 냄새자극(발 냄새 및 머리 냄새)에 의한 바탕뇌파대비 상대뇌파 변화값에 대한 brain map을 Fig. 1에 도시하였다. 뇌의 피질영역(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4)에서 바탕뇌파의 상대 뇌파값은 주파수 대역별로 세타파 0.12~0.26, 알파파 0.36~0.46, 베타파 0.26~0.35, 및 감마파 0.10~0.16 이었다(Fig. 1(a)).

피험자들의 바탕뇌파는 후두엽 부분에서 알파파가 많고, 양 측두엽 부위에서는 상대적으로 다른 부위보다 적으면서 좌/우 대칭이 유지된 패턴으로 정상적인

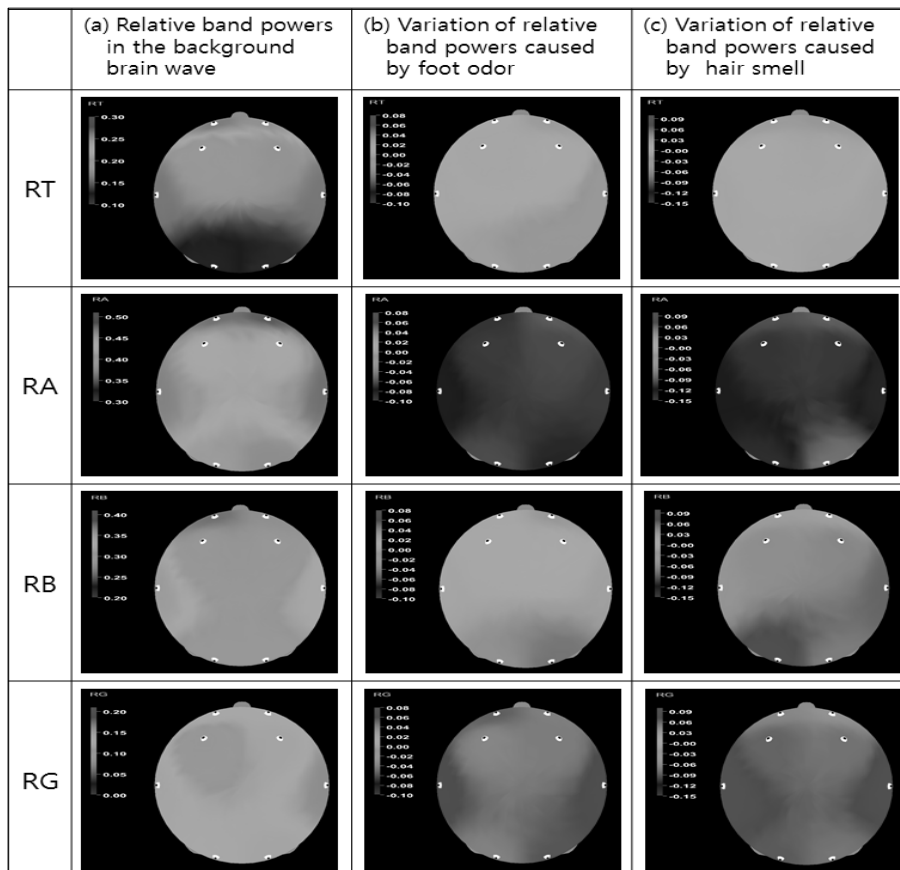


Fig. 1. Brain activation maps on relative band power.

바탕뇌파와 일치하였다(Laxtha, 2013).

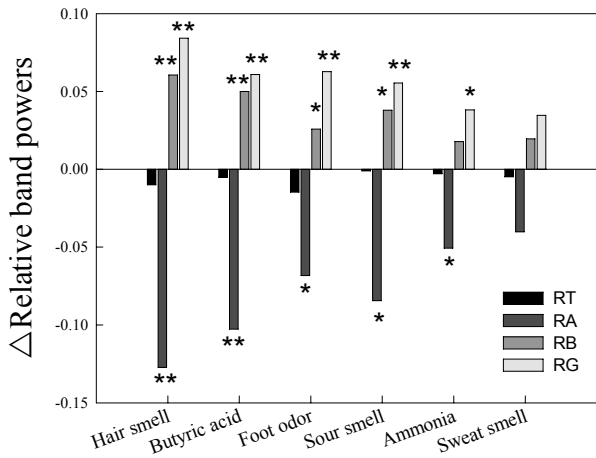


Fig. 2. Relative EEG band powers by odor stimuli compared to the background brain wave. *Statistically significant difference when compared to the background (Dunnett, $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

냄새지각과 관련이 있는 측두엽(T3와 T4)에서 바탕 뇌파는 알파파(0.36~0.37)와 베타파(0.33~0.34)가 우세하였으며, 세타파(0.15~0.16)와 감마파(0.14~0.16)는 상대적으로 약하였다. 바탕뇌파와 달리 발냄새와 머리냄새는 뇌 피질의 8부위 모두에서 알파파를 현저하게 감소시켰고, 베타파와 감마파를 증가시켰다(Fig. 1b, Fig. 1c). 특히, 측두엽에서 알파파의 감소현상이 두드러졌다.

측두엽(T3와 T4)에서 냄새자극에 의한 주파수 대역별 상대뇌파의 바탕뇌파대비 평균 변화값을 Fig. 2에 도시하였다. 6종류의 냄새자극 모두 알파파를 현저하게 감소시켰으며($\Delta RA = -0.04 \sim -0.13$), 냄새종류에 따라 세타파를 다소 증가시키거나 감소시키는 경향을 보였다. 냄새자극은 상대적으로 베타파와 감마파를 증가시켰으며, 특히 감마파의 증가가 두드러졌다($\Delta RB = 0.02 \sim 0.06, \Delta RG = 0.03 \sim 0.09$). 가장 많은 뇌파변화를 유발한 냄새자극은 머리냄새였고, 머리냄새에 대한 반응중 알파파(RA)를 감소시켰고, 감마파(RG)와 베타파(RB)를 증가시켰다. 머리냄새, 부티르산, 신폼냄새, 발냄새, 암모니아, 땀냄새의 순으로 알파파를 감소시켰으며 알파파의 감소가 베타파와 감마파의 증가로 나타났다. 통계적으로 RT의 경우 유의하지 않았고, RA, RB, 및 RG는 유의미한 차이가 있었다[RT, $F(6, 113) = 1.21, p < 0.3085$; RA, $F(6, 113) = 4.42, p < 0.0000$; RB, $F(6, 113) = 2.36, p < 0.0346$; RG, $F(6, 113) = 3.15,$

$p < 0.0068$].

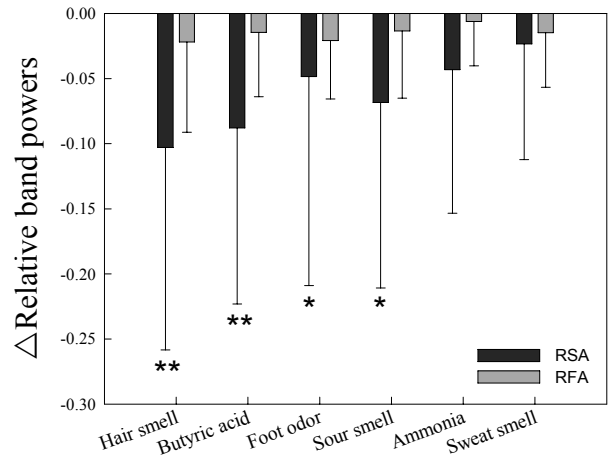


Fig. 3. RSA and RFA by odor stimuli compared to the background brain wave. *Statistically significant difference when compared to the background (Dunnett, $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

알파파와 베타파의 세분화된 주파수 대역별로 냄새 자극이 바탕뇌파대비 상대뇌파 변화값에 미치는 영향을 Fig. 3과 Fig. 4에 도시하였다. 바탕뇌파의 slow alpha파(8~11Hz)와 fast alpha파(11~13Hz)는 각각 0.28 ± 0.00 와 0.09 ± 0.00 이었다. 6종류의 냄새는 바탕뇌파 대비 알파파를 감소시켰으며, fast alpha파 보다 slow alpha파를 두드러지게 감소시켰다(Fig. 3). 통계적으로 바탕뇌파대비 RSA는 유의미하게 감소되었지만, RFA의 경우 유의미한 차이는 없었다[RSA, $F(6, 113) = 3.46, p < 0.0035$; RFA, $F(6, 113) = 1.49, p < 0.1896$]. Fast alpha파는 냄새의 종류에 따라서도 감소폭이 무관하였으나 slow alpha파의 감소폭(0.02~0.10)은 냄새종류에 많은 영향을 받았다. 바탕뇌파에서 움직임이 없는 집중상태의 뇌파지표인 RLB (12~15Hz), 활동적인 상태에서 집중력을 나타내는 중간 베타파 RMB(15~18Hz), 및 긴장과 스트레스(정서불안 및 각성상태)를 나타내는 고베타파(18~30Hz)인 RHB는 각각 $0.096 \pm 0.01, 0.124 \pm 0.005,$ 및 0.154 ± 0.002 이었다. 바탕뇌파 대비 RLB (12~15Hz)는 냄새종류에 따라 약 0.001~0.010 감소되었으며 냄새종류가 RLB 감소폭에 미치는 영향은 미미하였다(Fig. 4). RMB는 부티르산에 의해 약 0.003 ± 0.040 증가되었고, 나머지 냄새들에 의해 약 0.001~0.011 증가되었다. 즉, 냄새자극들이 RMB에 미치는 영향도 미미하였다. 반면 RHB는 냄새

자극에 따라 약 0.016~0.057 증가되었다. 머리냄새가 RHB를 가장 많이 증가시켰고, 땀냄새는 가장 적게 증가시켰다. 바탕뇌파대비 냄새자극에 의한 베타파의 주파수대역별 변화는 RLB와 RMB는 통계적으로 유의하지는 않았다[RLB, $F(6, 113)=0.85, p<0.5369$; RMB, $F(6, 113)=1.53, p<0.1735$; RHB, $F(6, 113)=2.32, p<0.0432$].

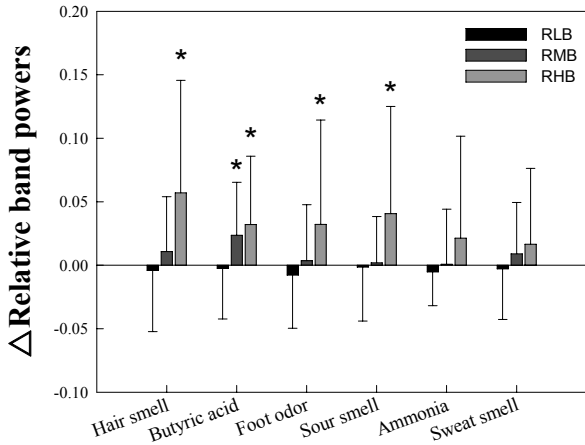


Fig. 4. RLB, RMB and RHB by odor stimuli compared to the background brain wave. *Statistically significant difference when compared to the background Dunnett, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

냄새자극에 의한 ASEF50, SEF50 및 SEF90의 바탕뇌파대비 변화값을 Fig. 5에 도시하였다. 바탕뇌파의 SEF50, SEF90 및 ASEF50은 각각 13.9 ± 0.3 , 33.0 ± 0.7 Hz, 및 10.3 ± 0.1 Hz 이었다. 뇌의 각성과 활성 정도를 나타내는 지표 SEF50은 바탕뇌파(13.5 ± 2.6 Hz)와 비교하여 6종류의 냄새 모두 증가되었다. SEF50을 가장 많이 증가시킨 자극물 냄새는 머리냄새와 부티르산이었고, 그 다음으로 발냄새 이었다. 한편 6종류 냄새들은 극도의 긴장과 스트레스를 나타내는 지표인 SEF90도 증가시켰다. 바탕뇌파와 비교하여 머리냄새와 부티르산은 SEF90을 각각 4.5 ± 6.2 Hz, 3.7 ± 6.7 Hz 증가시켰고, 발냄새, 땀내, 땀냄새, 및 암모니아는 각각 2.8 ± 6.1 , 2.5 ± 6.4 , 1.9 ± 5.9 , 1.4 ± 6.0 Hz 증가시켰다. ASEF50은 쾌적성을 나타내는 지표로 머리냄새에 의해 약간 증가되는 현상이 있었지만 나머지 냄새는 모두 감소되었다. 바탕뇌파대비 각각의 자극물에 의한 ASEF50의 변화는 통계적으로 유의하지 않았으나, SEF50와 SEF90의 변화는 유의미하게 나타났다[SEF50, $F(6, 113)=3.14, p<0.007$; SEF90, $F(6, 113)=2.84, p<0.013$; ASEF50, $F(6, 113)=1.34, p<0.2437$].

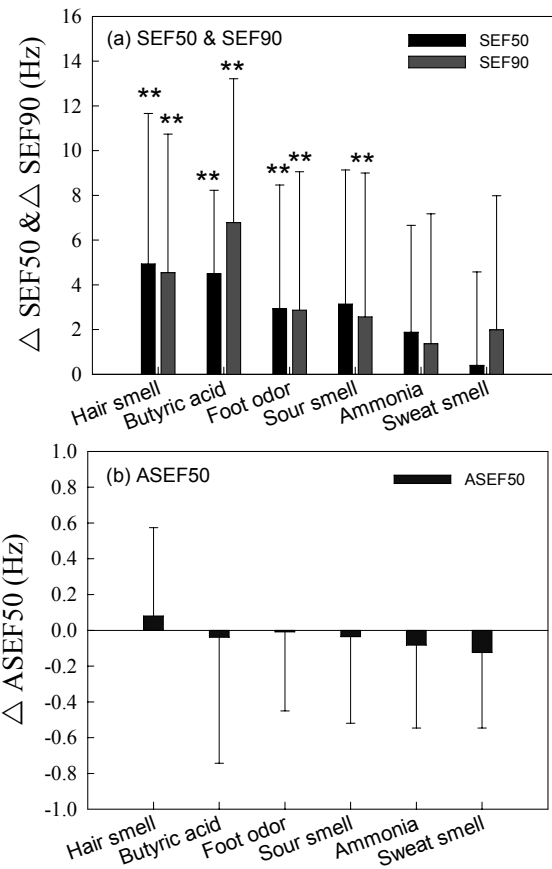


Fig. 5. ASEF50, SEF50, and SEF90 by odor stimuli compared to the background brain wave. *Statistically significant difference when compared to the background (Dunnett, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

바탕뇌파 대비 편안함과 안정 정도를 나타내는 뇌파지표인 RAHB와 외부정보에 대한 집중력을 나타내는 뇌파지표로 사용되는 RSMT의 변화 값을 Fig. 6에 도시하였다. 바탕뇌파의 RAHB와 RSMT는 각각 3.17 ± 0.13 과 1.82 ± 0.12 이었다. 6종류의 냄새 모두 바탕뇌파 대비 RAHB를 감소시켰고, 이러한 현상은 머리냄새와 부티르산에서 두드러지게 나타났다. RSMT는 머리냄새, 부티르산, 발 냄새에 의해 다소 증가되었고, 나머지 냄새들은 감소시켰다. 각각의 자극물에 따른 RAHB 변화는 통계적으로 유의했으나 RSMT의 변화는 유의하지 않았다[RAHB, $F(6, 113)=2.31, p<0.0486$; RSMT, $F(6, 113)=1.56, p<0.1663$].

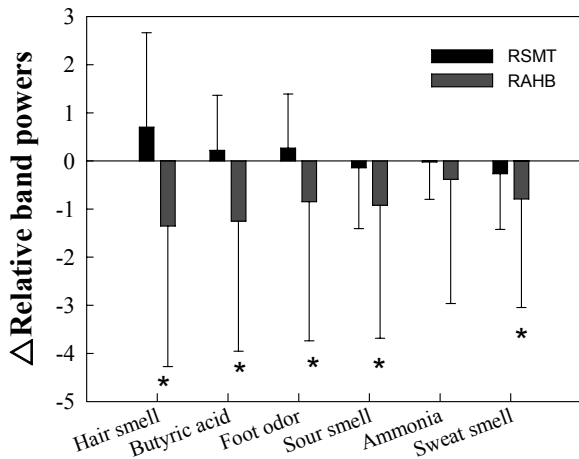


Fig. 6. RAHB and RSMT by odor stimuli compared to the background brain wave. *Statistically significant difference when compared to the background (Dunnett, $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

4. 고찰

Fig. 1의 뇌 활성화지도(brain activation map)에서 알 수 있는 바와 같이 악취성 냄새자극에 의해 뇌의 전 부위에서 안정과 편안함을 나타내는 알파파가 현저하게 감소되었고, 베타파와 감마파는 증가되었다. 그리고 냄새자극에 의한 뇌의 반응은 좌·우뇌의 측두엽 부위에서 변화가 두드러지게 나타났는데(Fig. 1), 이러한 결과는 냄새 자극이 뇌의 측두엽을 활성화시킨다는 여러 연구결과들과 일치하였다(Masago et al., 2000, Brauchli et al., 1995). 기존 연구들에서는 냄새자극에 의해 좌측 보다는 우측 측두엽이 민감하게 반응하는 것으로 보고되고 있는데, 본 연구에서는 6종류의 악취 자극에 의한 좌·우측 측두엽에서의 뇌파 값 변화는 유사하였다.

지금까지의 대부분의 냄새에 대한 뇌 과학적 접근은 주로 향을 중심으로 이루어졌으나 본 연구에서는 교실냄새와 두 종류의 악취물질을 대상으로 연구한 것으로 기존의 연구와는 다른 결과가 도출되었다. 기존 연구들에서는 세타파에서 베타파(4~30Hz) 영역에서 뇌파분석을 수행하였으나, 본 연구에서는 4~50Hz 까지 감마파 영역까지 폭 넓게 분석하였다. 교실냄새와 강한 악취성 물질들이 뇌에 미치는 영향은 향을 맡았을 때의 뇌파반응과는 달랐다. 전체적으로 각 주파수 대역별 뇌파의 변화는 교실냄새의 악취자극이 세타파에 미치는 영향은 미미하였지만, slow 알파파(8~11Hz) 영역에서부터 감마파 영역(30~50Hz)까지의

속과 영역에서는 주파수가 낮을수록 소멸되었고, 주파수가 높을수록 활성화되는 특징이 관찰되었다. 유쾌한 감성이나 안정된 정서에서 많이 나타나는 알파파의 변화는 교실냄새에 의해 slow alpha가 감소되었고(Fig. 3), 편안함과 안정정도를 나타내는 RAHB도 감소되었다(Fig. 6).

교실냄새들은 고베타파와 감마파를 활성화시켰으며 극도의 흥분과 각성 시 나타나는 뇌파인 감마파가 두드러지게 증가시켰다(Fig. 1와 Fig. 4). 또한 뇌의 각성상태와 스트레스 시 출현하는 SEF50과 SEF90도 활성화되었다(Fig. 5). 교실냄새 외에 대표적인 악취물질로 사용된 암모니아와 부티르산도 알파파를 감소시키고, 고베타파와 감마파를 활성화시켰다. 즉 알파파의 감소는 인지활동을 하는 데 주의 집중이 되지 않는 편안하지 않는 상태이고, 베타파와 감마파가 너무 많으면 근육의 긴장, 혈압상승, 긴장상태의 유발 등을 초래한다고 알려져 있다(Andreassi, 2006). 즉 교실냄새는 베타파와 감마파를 증가시켜 주의 집중력 및 학습 능력을 저해시키고, 뇌의 각성, 긴장 및 스트레스 등을 유발시키는 냄새의 특징을 보이고 있다.

역도 선수들이 경기에 들어가기 전에 각성을 위해 강한 암모니아 냄새를 맡게 하는데, 암모니아와 같은 악취물질은 각성효과가 탁월하다는 것을 RB, RG, SEF50, SEF90 등의 지표들로부터 확인 할 수 있었다. 암모니아 자극에 의해 이들 지표들이 모두 증가되었으며, 암모니아보다도 부티르산의 뇌의 각성효과가 더 컸다. 부티르산의 알파파 소거, 베타파와 감마파의 활성화정도는 암모니아의 약 2배에 이른다(Fig. 2). 교실냄새 중에서 뇌를 각성시키는 정도는 머리냄새 > 발냄새, 땀냄새 > 땀냄새 순이었다. 머리냄새는 대조 악취 물질로 사용한 부티르산 보다 뇌를 더 각성시켰으며, 발냄새와 땀냄새는 부티르산과 암모니아의 중간정도의 각성 효과를 보였으며, 땀냄새는 암모니아보다 각성효과가 덜하였다. 이러한 결과들로부터 사람의 교실냄새가 뇌에 미치는 영향을 대표 악취물질과 비교해보면 머리냄새는 부티르산 보다 더 자극적인 냄새이고, 발냄새와 땀냄새는 부티르산과 암모니아의 중간정도의 자극적인 냄새임을 알 수 있다. 실제로 부티르산은 머리냄새와 발냄새를 구성하고 있는 주성분 중 하나이다(Caroprese et al., 2009; Natsch et al., 2003; Munk et al., 2000; Goetz et al., 1988). 사람의 몸냄새는 피부땀샘의 분비물과 세균의 작용에 의해 유발되는데, 사람의 모발과 두피에서 발생하는 냄새는

alkanes, alkenes, ketones, alcohols, aldehydes, acids (acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid, caproic acid, heptanoic acid) 등의 성분들로 구성되어 있고 (Goetz et al., 1988), 발냄새는 acetic acid, butyric acid, isobutyric acid, isovaleric acid, isocaproic acid 등으로 구성되어 있다(Caropress et al. 2009). 땀냄새의 주성분은 hydroxy acids, esters, ketones, aldehydes, amino acid 분해 산물들(lactic acid, 3-methyl-2-oxopentanoic acid, octanedioic acid, azelaic acid, propionic acid, butyric acid 등) 등 이다(Natsch et al., 2003; Munk et al., 2000).

냄새 자극에 대한 연구자들의 연구결과는 알파파가 증가하거나 감소하는 두 경향으로 나누어진다. 첫 번째는 다양한 향들에 의해 측두엽에서 알파파가 활성화되는 경우이다. 장미, 라벤더, 레몬 같은 진정오일(calming oil)은 알파파와 세타파를 활성화시키고 (Steele & Tisserand, 2003; 민병찬 등, 2001), 혼합향(SD alcohol, benzophenol, BHT (benzyl hydroxy toluene), water, and fragrance 혼합물)은 측두엽의 알파파를 증가시키고 뇌의 전 영역에서 감마파를 감소시킨다고 한다(Son et al., 2001). 두 번째는 향이나 악취가 오히려 알파파를 감소시키고 베타파를 증가시키는 경우이다. 고양이, 토끼, 쥐, 호로새의 동물실험에서 악취자극에 의해 베타파가 증가하였고(Bressler, 1984; Bressler and Frereman, 1980; Freeman 1982; Oosawa et al 2000), 향 중 자스민, 로즈마리, 바질, 후추, 페퍼민트 같은 자극 오일은 베타파를 증가된다고 한다. 악취인 교실냄새는 두 번째와 유사한 경향을 보이고 있다.

교실냄새와 같은 악취물질들은 실내공기의 질과 밀접한 관련이 있다. 악취와 건강상 위험의 근거로 실내공기의 질을 평가하는데, 실내악취물질에 대한 주요 원인물질들로 휘발성 건축자재, 곰팡이나 동물유래의 bio-odorants, 탈취제, 및 향뿐만 아니라 거주자들의 몸냄새도 포함된다(Cone et al, 1991). 실내공기의 질을 유지하기 위해서는 적절한 환기가 매우 중요하다. 실제로 1900년대 주초중반에는 주로 몸냄새를 희석하고 제거하기 위하여 거주자 1인당 15ft³/min의 공기를 환기시킬 것을 빌딩환기기준으로 정하기도 하였다(EPA, 1991). 교실냄새가 과도한 각성이나 긴장을 유발한다는 것은 신체적·정신적 건강뿐만 아니라 학습능력을 저해할 수 있다. 따라서 적절한 환기를 통하여 냄새요인을 제거하고 교실의 실내공기의 질을 유지하는 것이 뇌파지표를 통하여 증명할 수 있었다.

교실냄새는 단일 악취물질이 아니라 복합악취물질로 냄새시료의 상태에 따라 악취의 성분, 농도 및 강도가 다르다. 이에 따라 뇌파에 미치는 영향이 달라질 수 있기 때문에 본 연구결과의 일반화에는 한계점이 있다. 다만, 본 연구는 교실냄새가 미치는 영향을 다양한 뇌파지표들로 분석할 수 있음을 보였으며 많은 영향을 받는 주요 뇌파지표들을 밝힌데 의의가 있다고 할 수 있다. 향후 교실냄새 시료의 악취성분과 악취강도에 대한 정량적인 분석과 이들이 뇌파지표의 변화에 미치는 영향에 대하여 보다 체계적인 연구가 필요하다고 본다. 특히 각 교실냄새별로 학습능력을 저해하지 않는 한계농도 규명 등을 통해 쾌적한 교실환경을 유지하기 위한 조건을 제시하는 등의 연구가 필요하다.

5. 결론

신진대사가 활발한 남자고등학생들의 교실냄새(발냄새, 머리냄새, 선냄새, 땀내)와 대표 악취물질(암모니아와 부티르산)이 뇌파에 미치는 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

교실냄새와 악취물질의 자극은 측두엽(T3, T4)에서 가장 두드러지게 나타나므로 냄새자극에 대한 뇌의 대표적인 반응은 측두엽을 통해서 파악이 가능하였다. 이들 냄새들은 뇌의 전 부위에서 알파파를 감소시켰고 베타파와 감마파의 활성화를 유발하였으며, 세타파에 미치는 영향은 미미하였다. 또한, 냄새자극은 느린 알파파(8~11Hz) 영역부터 감마파 영역(30~50Hz)까지 뇌파의 주파수가 낮을수록 소멸되고 주파수가 높을수록 활성화되었다. 뇌의 각성정도를 나타내는 지표들(RB, RG, SEF50, SEF90 등)을 기준으로 냄새물질들의 뇌 각성 및 자극정도는 머리냄새 > 부티르산 > 발냄새, 선냄새 > 암모니아 > 땀냄새 순이었다. 결론적으로 교실냄새는 알파파를 감소시키고, 베타파와 감마파를 증가시켜 주의 집중력 및 학습능력을 저해시키고, 뇌의 각성, 긴장 및 스트레스 등을 유발시키는 냄새의 특징을 보였다.

REFERENCES

- Andreassi, J. L. (2006). *Psychophysiology Human Behavior and Physiological Response*, Lawrence

- Erlbaum Associates.
- Bell, I. R., Kline, J. P., Schwartz, G. E., & Peterson, J. M. (1998). Quantitative EEG pattern during nose versus mouth inhalation of filtered room air in young adults with and without self-reported chemical odor intolerances, *International Journal of Psychophysiology*, 28, 23-35.
- Bensafi M., Rouby, C., Farget, V., Bertrand, B., Vigouroux M., & Holley, A. (2003). Perceptual, affective, and cognitive judgement of odors: Pleasantness and handedness effects, *Brain and Cognition*, 51, 270-275.
- Brauchli, P., Rüegg, P. B., Etzweiler, F., & Zeier, H. (1995). Electrocortical and autonomic alteration by administration of a pleasant and an unpleasant odor, *Chemical Senses*, 20(5), 505-515.
- Bressler, S. L. & Freeman, W. J. (1980). Frequency analysis of olfactory system EEG in cat, rabbit, and rat, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 50, 19-24.
- Bressler, S. L. (1984). Spatial organization of EEGs from olfactory bulb and cortex, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 57, 270-276.
- Caroprese, A., Gabbanini, S., Beltramini, C., Lucchi, E., & Valgimigli, E. (2009). HS-SPME-GC-MS analysis of body odor to test the efficacy of foot deodorant formulations, *Skin Research and Technology*, 15, 503-510.
- Cone J. E. & Shusterman D. (1991). Health effects of indoor odorants, *Environmental Health Perspectives*, 95, 53-59.
- EPA. (1991). Indoor air facts No.4 sick building syndrome. http://www.epa.gov/iaq/pdfs/sick_building_factsheet.pdf.
- Freeman, W. J. & Schneider, W. (1982). Changes in spatial patterns of rabbit olfactory EEG with conditioning to odor, *Psychophysiology*, 19, 44-56.
- Goetz, N., Kaba, G., Good, D., Hussler, G., & Bore, P. (1998). Detection and identification of volatile compounds evolved from human hair and scalp using headspace gas chromatography, *Journal of Society Cosmetic Chemists*, 39, 1-13.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). Principles of Neural Science, 4th Ed., Mc Graw-Hill.
- Kanda, F., Yagi, E., Fukuda, M., Nakajima, K., Ohta, T., & Nakata, O. (1990). Elucidation of chemical compounds responsible for foot malodour, *British Journal of Dermatology*, 122(6), 771-776.
- Klemm, W. R., Lutes, S. D., & Hendrix, D. V., Warrenburg, S. (1992). Topographical EEG maps of human responses to odors, *Chemical Senses*, 17, 347-361.
- Lorig, T. S. (2000). The application of electroencephalographic techniques to the study of human olfaction: a review and tutorial, *International Journal of Psychophysiology*, 36, 91-104.
- Masago, R., Matsuda, T., Kikuchi, Y., Miyazaki, Y., Iwanaga, K., Harada, H., & Katsuura, T. (2000). Effects of inhalation of essential oils on EEG activity and sensory evaluation, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 19(1), 35-42.
- McPeck, C. J. Brainwaves-The Cause of Internet and TV Addiction?. <http://www.causeof.org/brainwaves.htm>.
- Millot, J. L., Brand, G., & Morand, N. (2002). Effects of ambient odors on reaction time in humans, *Neuroscience Letters*, 322(2), 79-82.
- Munk, S., Münch, P., Stahnke, L., Adler-Nissen, J., & Schieberle, P. (2000). Primary odorants of laundry soiled with sweat/sebum: influence of lipase on the odor profile, *Journal of Surfactants and Detergents*, 3, 505-515.
- Natsch, A., Gfeller, H., Gygax, P., Schmid, J., & Acuña, G. (2003). A specific bacterial aminoacylase cleaves odorant precursors secreted in the human axilla, *Journal of Biological Chemistry*, 278, 5718 - 5727.
- Oosawa, T., Hirano, Y., & Tonosaki, K. (2000). Electroencephalographic study of odor responses in the domestic fowl, *Physiology and Behavior*, 71, 203-205.
- Pander, S. K. & Kim, K. H. (2011). Human body-odor components and their determination, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(5), 784 -

796.

Son, H. R., Ahn, T. H., Yoon, S. W., & Choi, H. J. (2001). Objective olfactory function test through analysis of human Q-EEG changes, *Korean Journal of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 44(6), 621-627.

Steele, J. & Tisserand, R. (2003). Herbs for Health, *Being Well the Natural Way Magazine*.

Terauchi, F., Kubo, M., Ohgama, T., & Aoki, H. (1996). Effect of odors from coniferous woods on contingent negative variation (CNV), *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, 45, 397-402.

Whittle, C. L., Fakhanzadeh, S., Eaeds, J., & Preti, G. (2007). Human breath odors and their use in diagnosis, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1098, 252-266.

Kang, K. & Lee, H. (2002). Effect of electroacupuncture in vascular dementia: nonlinear analysis, *Journal of Information Technology Applications & Management*, 9(4), 165-177.

Ministry of Education and Science Technology(MEST) (2012). *Notification No. 2012-078 of MEST*.

National Institute of Environmental Research (NIER) (2005). Korean Standard Methods for Odor

Analysis. *Notification No. 2005-4 of NIER*.

Laxtha (2013). Evaluation of background EEG. <http://www.laxtha.com/ProductView.asp?Model=LXS MD6-1&si=7&pmid=795>.

Min, B. C., Han, J. S., Cheong S. C., Bien, Z. N., Kim, J. K., & Kim, C. J. (2001). A study on correlation between subjective assesment and EEG for essential odors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 20(3), 1-9.

Baik, E. J., Lee, Y. Y., Lee. B. H., & Moon, C. H. (1998). Emotional changes of EEG and autonomic response by olfactory stimuli with orange and valeric acid, *Korean Journal of the science of emotion and sensibility*, 1, 105-111.

Shin, H., Baeg, G. J., Song, M. J., & Jang, G. S. (2009). Change of EEG by odor stimulation of construction material, *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 35, 47-53.

원고접수: 2013.04.30

수정접수: 2013.07.18

게재확정: 2013.09.23