

음악의 선법 및 협화성에 따른 청취자의 감정이 EEG 편재화에 미치는 영향

안단태
dtan@hciil.snu.ac.kr

한구현
ghhan@hciil.snu.ac.kr

서진욱
jseo@snu.ac.kr

Seoul National University
Dept. of Computer Science & Engineering



요약

주관적이고 순간적인 감정의 속성은 음악과 감정 사이의 관계를 명확하게 밝히기 어렵게 합니다. 그러나 최근 들어 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI)가 발전하면서 청취자가 느끼는 감정을 정량적으로 포착하기 위해 뇌전도(EEG)를 활용하게 되었습니다. 이때 EEG 세기의 좌우 반구 비대칭성을 관찰하면 감정의 긍정적인 정도(감정가)를 예측할 수 있다는 것이 잘 알려져 있습니다. 본 연구에서는 이를 확장하여, EEG의 편재성이 선법, 협화성의 두 가지 음악적 특징 및 감정가, 각성도, 지배도의 세 가지 감성 성분과 각각 어떤 관련이 있는지 알아보고자 합니다. 이를 위하여 25명의 참가자를 대상으로 피험자 내 설계 방식으로 선법과 협화성이 다른 음악들을 들려주며 EEG 신호를 측정하고 청취 후의 감성 상태를 묻는 실험을 진행하였습니다. 그리고 수집한 EEG 신호에서 전처리 과정을 거쳐 다섯 개 주파수 대역에서 여덟 개 좌우 전극 쌍의 비대칭 지수를 추출하고 통계분석을 실시하였습니다. 그 결과 감정가가 높을 때 전두엽 부근에서 좌반구가 더 활성화된다는 기존 연구의 결과를 다시 확인하였으며, 각성도가 높을 때 모든 뇌 영역의 알파와 베타 대역에서 좌반구가 더 활성화되고, 지배도가 높을 때 전전두엽, 두정엽 및 측두엽의 감마 대역에서 우반구가 더 활성화되는 것을 발견하였습니다. 선법에 따라서는 뇌 앞쪽과 뒤쪽에서 상반되는 좌우 비대칭성을 보였으며 협화성에 따라서는 복잡한 패턴을 보였습니다. 따라서 EEG의 편재화 현상은 감정가에만 한정적으로 나타나는 현상이 아니며, 음악과 감정 사이의 관계를 이해하는 데 중요한 정보를 제공합니다.

연구 목표

음악과 감정과 EEG 사이의 관계 확인

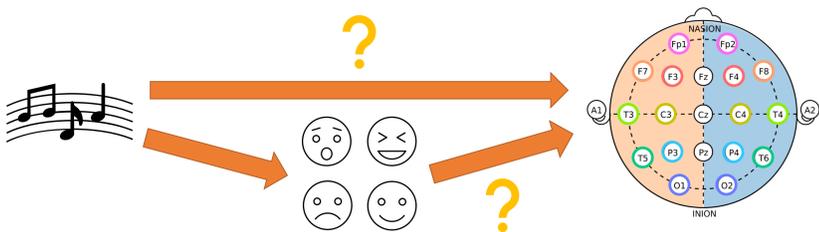


그림 1 - 음악 및 청취자가 느끼는 감정이 청취자의 EEG 좌우 반구 활성화 차이에 주는 영향.

- 음악의 선법 및 협화성이 청취자의 EEG의 좌우 반구 활성화 차이에 주는 영향 확인
- 음악을 듣고 느낀 감정의 감정가(valence), 각성도(activation), 지배도(dominance)가 EEG 신호의 좌우 반구 활성화 차이에 주는 영향 확인

실험

음악 조건 설계

- 참가자들이 처음 듣는, 직접 작곡한 음악을 들려줌으로써 음악의 요소를 효과적으로 통제하고 실험의 내적 타당성(internal validity)을 높임

음악 자극	선법	협화성	협화성 값	주 선율 으뜸음
A	장조	협화	19.5097	D
B	단조	협화	19.3889	C
C	장조	불협화	18.8775	C
D	단조	불협화	19.0972	C#
E	(무작위 음)	심한 불협화	18.8177	C#
R (음악 없음)				

표 1 - 음악을 들려주지 않는 휴식 조건(R)을 포함한 여섯 가지 음악 조건.

다섯 가지 음악 자극은 하나의 음악(A)에서 선법과 화음을 변주하여 2분 길이로 직접 작곡한 음악이다. 선법과 으뜸음은 조성 인식 알고리즘으로 확인하고, 협화성 값은 각 마디의 화음을 인식하여 계산하였다.

실험 프로토콜

- 19채널 건식 EEG 측정 기기인 ybrain사의 MINDD SCAN 사용
- 눈을 감고 각 음악 자극을 들으면서 EEG 신호 측정 (5가지 음악 제시 순서는 무작위)
- 음악을 들은 직후에 감성 상태를 묻는 설문 실시 → 감정가, 각성도, 지배도 값으로 변환
- 참가자 25명, 피험자 내 설계(within-subject design), SNUIRB No. 2106/001-017

EEG 전처리 과정

- 독립 성분 분석(ICA)을 적용하여 안구 움직임 등으로 발생하는 아티팩트(artifact) 제거
- 1초 길이의 윈도우를 50%씩 겹치도록 배치하여 신호 분할
- Welch's method를 이용하여 각 윈도우에서 신호 세기(PSD) 계산
- 5가지 주파수 대역: 델타(1-4), 세타(4-8), 알파(8-12), 베타(12-30), 감마(30Hz 이상)
- 편재화(좌우 반구의 활성화 차이)를 관찰하기 위해 8개 전극 쌍의 비대칭 지수(AI) 계산

$$AI = \ln(\text{absolute power right}) - \ln(\text{absolute power left})$$

결과

- 감성 값이 상위 33%(높음)인 1초 길이 윈도우 그룹과 하위 33%(낮음)인 그룹 비교
- 비대칭 지수(AI)가 높을수록 우반구가 좌반구보다 절대적으로 활성화되었다는 의미
- 모든 t-검정의 자유도는 21000 이상, ***: $p < .001$, **: $p < .05/8$, *: $p < .05$

	감성 수준(감정가, 각성도, 지배도)이 높을 때	감성 수준(감정가, 각성도, 지배도)이 낮을 때
주황색 *이 있는 항목	좌반구가 상대적으로 더 활성화	우반구가 상대적으로 더 활성화
파란색 *이 있는 항목	우반구가 상대적으로 더 활성화	좌반구가 상대적으로 더 활성화
* 표시가 없는 항목	좌우 반구의 활성화 차이가 유의하지 않음	좌우 반구의 활성화 차이가 유의하지 않음



표 2 - 그림 3-5를 해석하는 방법. 막대 위의 * 표시가 차이의 통계적 유의성을 나타낸다.

그림 2 - 시각화 구현 QR코드

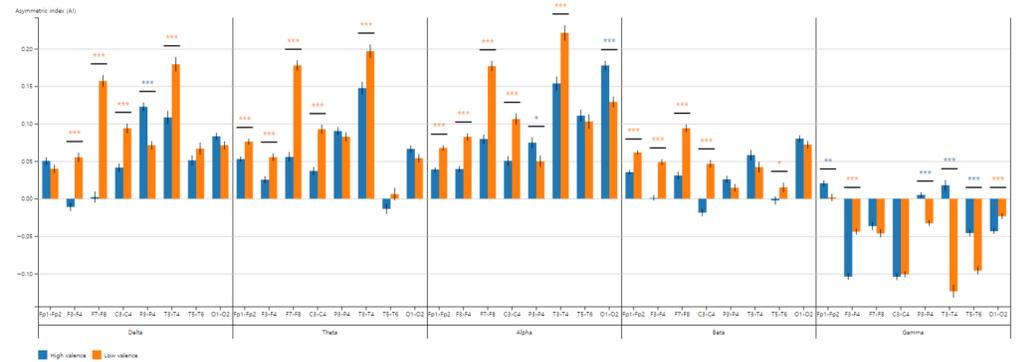


그림 3 - 감정가 수준(높음, 낮음)에 따른 EEG 비대칭 지수(AI). 감마 대역을 제외한 주파수 대역에 대해 전두엽(F3-F4, F7-F8) 및 중앙 지역(C3-C4)에서 감정가가 높을 때 좌반구가 더 활성화된다.

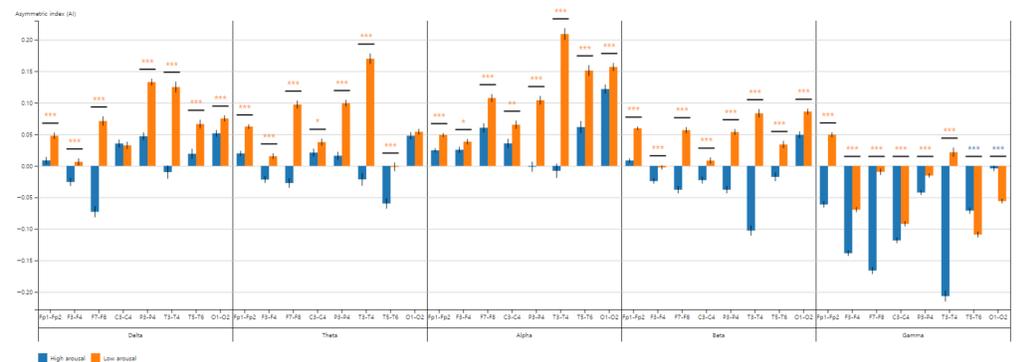


그림 4 - 각성도 수준(높음, 낮음)에 따른 EEG 비대칭 지수(AI). 모든 주파수 대역에 대해 전전두엽(Fp1-Fp2), 전두엽(F3-F4, F7-F8), 두정엽(P3-P4) 및 측두엽 일부(T3-T4)에서 각성도가 높을 때 좌반구가 더 활성화된다. 또한 알파 및 베타 대역에 대해 전극의 위치와 상관없이 각성도가 높을 때 좌반구가 더 활성화된다.

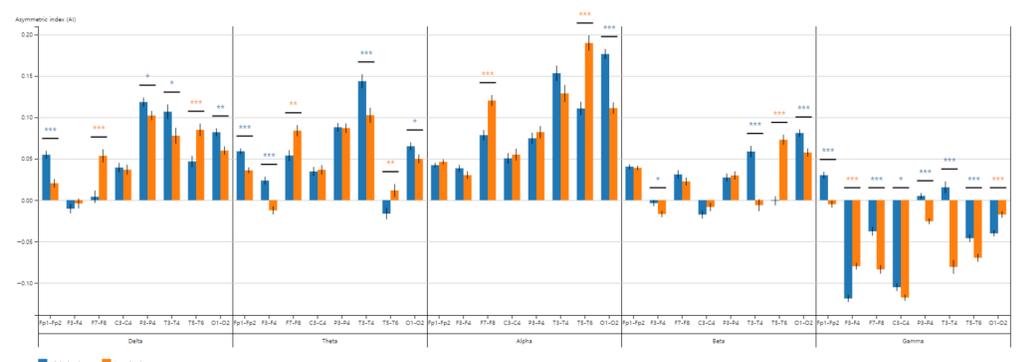


그림 5 - 지배도 수준(높음, 낮음)에 따른 EEG 비대칭 지수(AI). 알파 대역을 제외한 모든 주파수 대역에 대해 측두엽 일부(T3-T4)에서 지배도가 높을 때 우반구가 더 활성화된다. 또한 감마 대역에 대해 전전두엽(Fp1-Fp2), 두정엽(P3-P4), 측두엽(T3-T4, T5-T6) 등에서 지배도가 높을 때 우반구가 더 활성화된다.

Mode	Delta					Theta					Alpha					Beta					Gamma				
	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD	Con	Dis	VD				
Fp1-Fp2	***			***			***			***			***			***			***						
F3-F4	*			***			***			***			***			***			***						
F7-F8				***			***			***			***			***			***						
C3-C4																									
P3-P4																									
T3-T4	***			*			***			***			***			***			***						
T5-T6																									
O1-O2	*						***			***			***			***			***						

표 3 - 선법(장조, 단조)에 따른 EEG 비대칭 지수 차이. 장조 음악을 들 때는 단조 음악을 들 때와 비교하여 주파수 대역에 상관없이 전전두엽(Fp1-Fp2) 및 전두엽(F3-F4, F7-F8)에서 좌반구가 더 활성화되며, 감마 대역에 대해 두정엽(P3-P4), 측두엽(T3-T4, T5-T6), 후두엽(O1-O2)에서 우반구가 더 활성화된다.

표 4 - 협화성(협화, 불협화, 심한 불협화)에 따른 EEG 비대칭 지수 차이를 SNK 사후검정으로 분석한 결과. 세타 대역의 T3-T4와 베타 대역의 Fp1-Fp2, F3-F4, F7-F8 등은 협화 음악을 다른 음악들과 구분할 수 있다. 델타, 알파, 베타 대역의 C3-C4, T3-T4에서 측정된 비대칭 지수가 불협화 음악에서 유의하게 낮았다. 델타 대역의 P3-P4와 감마 대역의 T3-T4 등은 심한 불협화 음악을 다른 음악들과 구분할 수 있다.

결론 및 추후 연구 방향 제언

- 음악을 듣고 느낀 감정가와 각성도가 높을수록 대체로 좌반구가 더 활성화된다.
- 음악을 듣고 느낀 지배도, 들은 음악의 선법 및 협화성도 EEG 편재화에 영향을 준다.
- EEG 편재성으로 청취자의 감정과 음악적 특징을 예측하는 연구를 수행할 예정이다.

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2019R1A2C2089062).