

음악적 자극에 의한 뇌 활성도의 통계적 해석

정유라* · 장윤석**

Statistical Analysis of Brain Activity by Musical Stimulation

Yu-Ra Jung* · Yun-Seok Jang**

요약

본 논문에서는 학습 과제 수행 시 청각 자극이 뇌에 미치는 영향을 확인하기 위하여 뇌파 계측 실험을 통해 얻은 데이터로 분석한 결과를 제시하였다. 피험자가 수학적 과제를 해결하는 동안, 피험자의 선호도에 따라 구분한 선호 음악 및 비선호 음악을 청각 자극으로 제시하였으며, 수학적 과제는 암기형 및 절차형 과제로 구분하여 뇌파를 측정하였다. 이를 집중력과 관련된 뇌파의 주파수 대역인 세타파, SMR파 및 중간베타파로 나누어 상대 파워 스펙트럼 값을 비교하였다. 본 논문의 결과로는 무음악과 선호 음악 및 무음악과 비선호 음악을 비교한 경우에서 유의한 차이를 나타내는 채널을 관측할 수 있었으며, 공통적으로 전두엽 부위의 채널인 F_3 및 F_4 에서 평균의 차이를 나타냈다. 유의미한 차이를 나타낸 채널들에서도 음악이 없는 경우보다 음악이 제시된 경우의 파워가 더 크게 나타났으며, 선호도에 따라서는 선호 음악이 비선호 음악의 경우보다 두뇌의 활성도가 크게 나타난다는 사실을 실험결과로부터 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we presented the results of analysis with data obtained through EEG measurements to confirm the effect of musical stimulus when performing mathematical tasks. While the subject was solving a mathematical task, favorite and unfavorable music classified according to the subject's preference were presented as musical stimulus and the tasks were divided into memorization task and procedure task. The data measured in the EEG experiments was divided into theta waves, SMR waves and mid-beta waves which are the frequency bands related to concentration to compare the relative power spectrum values. In our results, in the case of comparing no music with favorite music and no music with unfavorable music, a significant difference was observed in the several channels, and the average difference was shown in the channels F_3 and F_4 of the frontal lobe. In that channels, the power was found to be greater when the music was presented than the case where there was no music. Depending on the subject's preference, it was confirmed that favorite music showed greater brain activity than unfavorable music.

키워드

Brain activity, Concentration, EEG Signal, Mathematical Task, Musical Stimulus,
두뇌 활성도, 집중, 뇌파, 수학적 과제, 음악적 자극

* 부경대학교 전기공학과 (yula1029@gmail.com)

** 교신저자 : 부경대학교 전기공학과

• 접수일 : 2020. 12. 11

• 수정완료일 : 2021. 01. 14

• 게재확정일 : 2021. 02. 17

• Received : Dec. 11, 2020, Revised : Jan. 14, 2021, Accepted : Feb. 17, 2021

• Corresponding Author : Yun-Seok Jang

Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University,

Email : jangys@pknu.ac.kr

1. 서 론

2016년 한국직업능력개발원에서 발표한 ‘한국인의 학습 태도와 역량 수준 국제비교’ 연구보고서에 따르면 한국인의 학습 시간은 OECD 회원국 중 가장 길지만, 학습의 효율성 측면에서는 낮은 수준을 기록했다. 이는 같은 학업 성취도를 내기 위해서 다른 국가에 비해 많은 시간을 투자한다는 것을 의미한다. 이러한 현상을 해결하기 위해서는 장시간 학습보다는 학습 시간 동안의 집중력을 증진시킴으로써 학습의 효율을 높이는 방향으로 교육을 진행하는 것이 바람직하다고 생각된다. 이처럼 효율적인 학습의 필요성이 대두됨에 따라 효과적으로 학생들을 교육하기 위한 노력이 필요하다고 생각된다. 특히, 인간의 두뇌 활동 상태를 추정하기에 적합하며, 과학적이고 객관적인 자료로 사용될 수 있는 뇌파 신호를 활용하여 음악과 학습의 상관관계에 관련된 연구가 계속적으로 진행되어 오고 있다[1-2]. 음악적 자극 부여가 수영선수의 시험 전 뇌파변화에 미치는 영향[3], 클래식 음악과 한국어 독해력 향상과의 상관관계 연구[4], 음악적 자극과 산술적 두뇌활동과의 상관성에 대한 뇌파분석[5] 등 다양한 학습 영역에서 음악의 긍정적인 영향이 입증되는 추세에 있기도 하다[6-8]. 이와 같은 맥락에서 음악 선호도에 따른 청각 자극과 수학적 과제 대한 신경생리학적 연구는 더욱 효과적인 수학 학습 환경을 조성하는 데 의미가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 청각 자극이 학습활동에 미치는 영향을 확인하는 것을 목적으로 하여 수행한 뇌파 계측 실험 결과를 제시한 것이다. 따라서 집중과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려진 뇌파의 주파수 대역인 세타파, SMR파(Sensory Motor Rhythm), 중간베타파의 뇌파 성분을 분석 대상으로 선정하였다. 피험자에게 제시하는 학습 과제는 수학적 과제로 한정하였으며 Stein에 의해 정의된 절차형과 암기형의 과제를 수행하도록 하였다[9]. 아울러 EEG(Electro Encephalography) 신호를 계측하여 2종류의 과제를 해결해야 하는 학습 상황에서 청각 자극의 유무에 따른 상대 파워 스펙트럼의 변화를 관찰하였고, 어떤 채널에서 유의한 차이가 나타나는지를 분석하였다. 아울러 피험자의 선호도에 따라 구분된 2종류의 청각 자극을 청취하면서 과제를 해결할 때, 각각의 경우에 나타나는

두뇌 활성화 차이를 확인하고자 한다.

본 논문에서는 먼저 뇌파 계측 실험의 개요와 분석하는 방법에 대하여 설명하고, 다음에는 측정된 뇌파 데이터의 청각 자극에 따른 채널별 통계적 검정과 두뇌 활성도를 비교하였다. 최종적으로는 전체적인 실험 결과를 제시하였고, 그 결과에 대하여 논의하였다.

II. 연구 방법

2.1. EEG 신호 계측 방법

본 연구에서는 기본적으로 선행연구[10]의 방법을 따라서 실험을 수행하였다. 실험을 수행하기 전 피험자들에게 의자에 앉아 심리적 안정을 취하도록 하고, 과도한 움직임은 자제하도록 주의사항을 전달하였다. 또한, 피험자의 음악에 대한 반응을 고려하여 선호 음악을 개별 제시하기 위해서 선호하는 진정 성향의 음악을 조사한 후, 뇌파 계측 실험을 수행하였다. 우선, 청각 자극이 제시되지 않은 상태에서 학습 과제를 해결하며 3분간 측정하였다. 다음으로 제시하는 청각 자극을 피험자의 선호도에 따라서 선호 음악과 비선호 음악으로 구분하여 각각 3분간 학습 과제를 해결하도록 하였다. 선호 음악은 사전질문을 통해 본인이 선호하는 음악을 선택하도록 하였고, 비선호 음악은 프리제즈 음악으로 선정하였다. 피험자가 과제를 수행하는 동안 제시하는 청각 자극은 그림 1의 순서에 따라서 제시하였다.

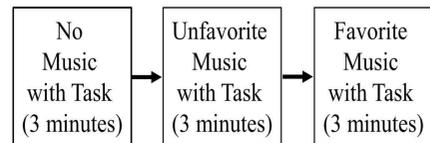


그림 1. 청각 자극 제시 순서
Fig. 1 Order of presentation of musical stimulus

피험자에게 부여하는 학습 과제는 인간의 수리적 사고에 미치는 영향을 확인하기 위하여 수학적 과제로 선정하였다. 수학적 과제를 해결하기 위한 인지적 요구 수준에 따라 암기형 과제와 절차형 과제의 2가

지 유형으로 구분하여 실험을 수행하였다. 한 피험자가 암기형 과제와 절차형 과제 모두 수행하도록 하였기 때문에 그림 1과 같은 청각 자극 제시를 2회 반복하여 측정하였다. 이러한 과정으로 총 12명의 피험자로부터 뇌파 데이터를 수집하였다.

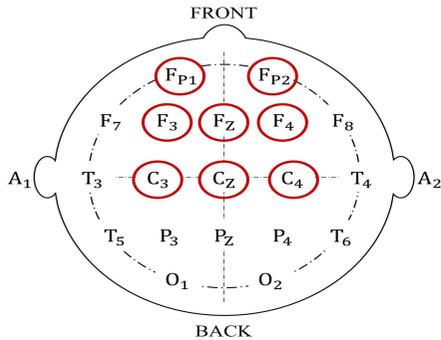


그림 2. 뇌파 계측을 위한 전극의 위치
Fig. 2 Electrodes location used for EEG measurement

피험자의 뇌파를 측정하기 위해서는 LAXTHA의 WEEG-32 장비를 사용하였고, 국제적으로 공인된 10-20 국제 전극 배치법의 기준에 따라 피험자에게 부착하는 전극의 위치를 선정하였다. 기준전극은 A₂, 접지전극은 뒷목에 부착하였고, 그림 2와 같이 전두엽 부위인 F_{p1}, F_{p2}, F₃, F_Z, F₄의 위치에 5채널, 두정엽 부위인 C₃, C_Z, C₄의 위치에 3채널에서 측정된 뇌파를 분석 대상으로 선정하였다.

2.2. EEG 신호 분석 방법

본 연구에서는 피험자에게 제시하는 음악적 자극의 종류가 수학적 과제를 수행하는 과정에서 발생하는 뇌파에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위하여, 청각 자극으로 제시되는 음악의 종류에 따른 파워 스펙트럼값의 평균으로 3가지의 주파수 대역과 8개의 측정 부위에서의 변화를 관측하였다. 분석을 위한 뇌파 성분으로는 현재 분류된 뇌파 성분 중 인간의 집중력과 관련이 있는 것으로 알려진 4~7Hz의 세타파, 12~15Hz의 SMR파 및 15~18Hz의 중간베타파의 주파수 대역을 선정하였다. 3개의 주파수 대역으로 구분

된 EEG 신호로부터 전체 주파수 대역의 절대 파워에 대한 각 주파수 대역의 절대 파워의 비로 나타나는 상대 파워 스펙트럼값을 추출하여 분석하였다.

위의 방법으로 얻어진 데이터를 비교하기 위하여 통계 패키지(SPSS Statistics) 프로그램을 이용한 통계적 분석을 실시하였다. 피험자로부터 계측된 뇌파 신호의 데이터 정규성 검증 결과, 모두 정규 분포를 만족하지 못하여 비모수 검정을 실시하였다. 피험자의 뇌파 신호의 음악적 자극의 종류에 따른 변화 양상은 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 통해 검증하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 분석 결과

[표 1] 및 [표 2]는 각각 수학적 과제로 절차형, 암기형 과제를 수행하는 과정에서 청각 자극으로 제시하는 무음악, 비선호 음악 및 선호 음악 청취 시 발생하는 세타파, SMR파 및 중간 베타파의 윌콕슨 부호 순위 검정을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 청각 자극으로 제시한 음악의 종류가 무음악과 선호 음악인 경우, 무음악과 비선호 음악인 경우 및 선호 음악과 비선호 음악인 경우로 나누어 3가지의 경우에서의 결과를 제시하였다. 일반적으로 유의확률이 0.05보다 클 경우는 두 집단의 평균이 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않는 것이며, 0.05보다 작은 경우는 두 집단의 평균이 통계적으로 유의미한 차이를 나타내는 것으로 본다. 여기서는 통계적으로 유의미한 차이를 나타낸 채널의 기술통계량만을 제시하였다.

표 1. 암기형 과제 수행 시 상대 파워의 윌콕슨 부호 순위 검정

Table 1. Wilcoxon signed rank test of relative power when performing a memorization task

SMR	M	SD	M	SD	Z	p
site	favorite		no-music			
F ₄	.9989	.0007	.9916	.0224	-3.059	.002

표 2. 절차형 과제 수행 시 상대 파워의
윌콕슨 부호 순위 검정

Table 2. Wilcoxon signed rank test of relative power
when performing a procedure task

Theta	M	SD	M	SD	Z	p
site	unfavorite		no-music			
C_3	.9988	.0006	.9977	.0015	-2.040	.041
	favorite		no-music			
F_3	.9991	.0004	.9981	.0014	-2.275	.023
F_z	.9991	.0005	.9977	.0018	-2.197	.028
F_4	.9987	.0009	.9968	.0028	-2.353	.019
C_3	.9991	.0006	.9977	.0015	-2.746	.006
C_z	.9990	.0005	.9979	.0015	-2.040	.041
C_4	.9990	.0007	.9976	.0019	-2.353	.019
SMR	M	SD	M	SD	Z	p
site	favorite		no-music			
F_{p1}	.9990	.0006	.9979	.0013	-2.275	.023
F_3	.9987	.0006	.9977	.0015	-2.510	.012
Mid-b	M	SD	M	SD	Z	p
site	unfavorite		no-music			
F_{p1}	.9988	.0008	.9980	.0013	-2.040	.041
F_3	.9991	.0008	.9982	.0014	-1.961	.050

[표 1]에서 제시한 검정 결과에서 암기형 과제에 대한 상대 파워는 세타파 및 중간베타파의 경우 모든 채널에서 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 하지만, SMR파에서 무음악과 선호 음악을 비교한 경우 F_4 채널에서 통계적으로 유의미한 차이를 보였으며, 선호 음악의 상대 파워 값이 무음악의 상대 파워 값에 비해서 큰 것으로 나타났다. [표 2]의 검정 결과에서 절차형 과제에 대한 상대 파워는 무음악과 선호 음악을 비교한 경우 SMR파 및 세타파에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 채널이 확인되었으며, 선호 음악의 상대 파워값이 무음악의 상대 파워값에 비해서 큰 것으로 나타났다. 그리고 무음악과 비선호 음악을 비교한 경우 세타파와 중간베타파에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 채널을 확인할 수 있었으며, 비선호 음악의 상대 파워값이 무음악의 상대 파워값에 비해서 큰 것으로 나타났다. [표 1] 및

[표 2]의 결과를 종합하면, 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타난 채널들에서 제시하는 음악이 선호 음악 및 비선호 음악인 경우의 상대 파워가 무음악인 경우의 상대 파워보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 공통으로 전두엽을 의미하는 F_3 및 F_4 채널에서 유의미한 차이를 관측할 수 있었다.

다음에는 무음악의 상대 파워값을 기준으로 선호 음악과 비선호 음악의 차이를 비교하여 두뇌의 활성화 정도를 알아보았다. 그림 3 및 4는 각각 수학적 과제로 절차형, 암기형 과제를 수행하는 동안 청각 자극에 대한 피험자의 채널별 뇌파 활성도를 비교한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 청각 자극의 영향을 관측하기 위해 비선호 음악 및 선호 음악 청취 시의 평균 상대 파워에서 무음악 청취 시의 평균 상대 파워를 뺀 값을 사용하여 차이를 비교하였다. 여기서 (a)는 세타파, (b)는 SMR파, (c)는 중간베타파를 나타낸다.

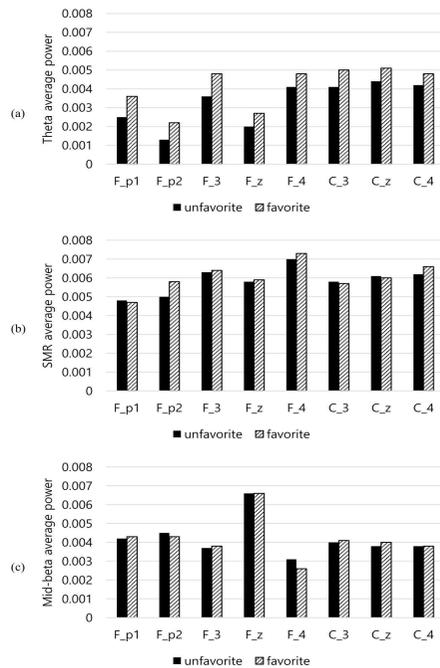


그림 3. 암기형 과제 수행 시 뇌파 활성도 비교
(a) 세타파, (b) SMR파, (c) 중간베타파
Fig. 3 Comparison of EEG activity when
performing a memorization task (a) Theta wave,
(b) SMR wave, (c) Mid-beta wave

IV. 결 론

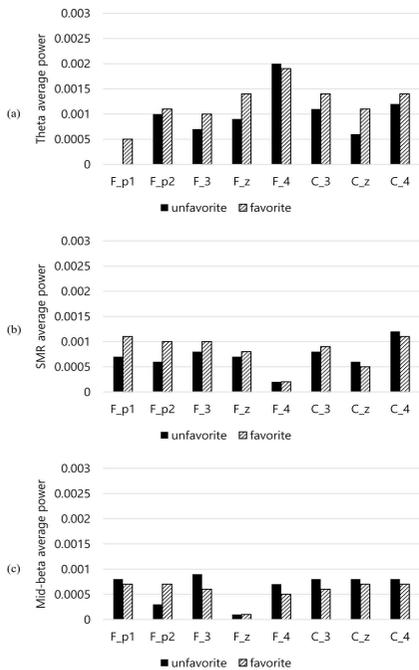


그림 4. 절차형 과제 수행 시 뇌파 활성도 비교
(a) 세타파, (b) SMR파, (c) 중간베타파
Fig. 4 Comparison of EEG activity when performing a procedure task (a) Theta wave, (b) SMR wave, (c) Mid-beta wave

암기형 과제에 대한 결과인 그림 3에서는 중간베타파의 경우 F_{p2} 와 F_4 채널을 제외하고 모두 선호 음악에서의 두뇌 활성도가 높은 것으로 나타났다. 절차형 과제에 대한 결과인 그림 4에서 세타파의 경우 F_4 채널, SMR파의 경우 C_z 채널을 제외하고 모두 선호 음악에서의 두뇌 활성도가 높은 것으로 나타났다. 하지만 중간베타파의 경우 F_{p2} 와 F_z 채널에서만 선호 음악에서의 두뇌 활성도가 높은 것으로 관측되었다. 그림 3 및 4의 결과를 종합하면, 전체적으로 암기형 과제의 경우가 무음악과 음악적 자극 청취 시의 차이가 절차형 과제의 경우보다 큰 것으로 관측되었다. 또한, 몇몇 채널을 제외한 대다수의 채널에서 선호 음악의 경우가 비선호 음악의 경우보다 무음악 청취 시의 파워와의 차이가 큰 것으로 확인되어 두뇌 활성도가 높다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 학습 과제를 수행하는 동안 청각 자극을 제시하여 인간의 집중력 미치는 영향을 뇌파 측정 실험을 통해 분석한 결과를 제시하였다. 학습 과제는 수학적 과제로 한정하였으며, 다른 유형의 청각 자극을 제시하여 과제를 해결하도록 하였다. 피험자로부터 측정된 EEG 신호는 세타파, SMR파, 중간베타파의 주파수 대역으로 구분하여 상대 파워 스펙트럼으로 분석하여 파워의 크기를 비교하는 것을 기본적인 분석 방법으로 사용하였다.

실험 결과에서 암기형 과제와 절차형 과제에서 공통적으로 전두엽 부위의 채널인 F_3 및 F_4 의 평균 상대 파워가 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 청각 자극의 유무에 따라서는 무음악과 비선호 음악 또는 무음악과 선호 음악을 비교한 경우에서 유의미한 차이를 확인하였으며, 음악이 제시되지 않은 경우보다 선호 및 비선호 음악과 같이 음악을 제시한 경우의 평균 상대 파워의 크기가 크게 나타난다는 사실을 확인하였다. 다음으로는 피험자의 선호도에 따라 구분된 청각 자극을 상호 비교하기 위하여 무음악 시 측정된 뇌파의 상대 파워를 기준으로 비선호 음악과 선호 음악의 활성도 차이를 채널별로 분석하였다. 그 결과, 암기형 과제에서는 91.67%, 절차형 과제에서는 66.67%의 채널에서 선호 음악의 파워가 비선호 음악의 파워보다 음악이 제시되지 않은 경우의 파워와의 차이가 큰 것으로 확인되었다. 결과적으로 수학적 과제를 수행하는 경우 음악이 주어지지 않는 상황보다 음악이 주어지는 상황에서 집중력이 높아지는 것으로 판단할 수 있으며, 음악 중에서도 본인이 선호하는 음악을 청취할 때 두뇌 활성도가 증가한다는 사실을 추정할 수 있다. 따라서, 선호하는 음악을 청취하며 수학 과제를 해결하도록 하는 것도 효율적인 교육 방법이 될 것으로 추정된다.

본 연구에서는 피험자의 선호도를 고려하여 제시한 청각 자극과 과제의 상관관계에 대한 뇌파실험 데이터를 통계적으로 분석하여 제시하였다. 향후에는 청각 자극이 인간의 심리에 미치는 다양한 요인을 고려하여 청각 자극과 집중력의 상관관계를 정량적으로 평가하기 위한 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.
위 논문은 2020년 가을철 학술대회 우수논문입니다.

References

[1] D. Kim and J. Choi, *Electroencephalogram* Seoul: Korea Medical Book Publishing Company, 2001.

[2] Y. Jang and Y. Son, "Analysis of EEG Signal for Relativity between Musical Stimulus and Concentration for Memorization," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 3, June 2019, pp. 607-612.

[3] G. Lee, "The effect of musical stimuli on the change in EEG signal of swimmers before the competition," Master's Thesis, *Changwon National University Graduate school of Physical Education*, 2012.

[4] G. Choi, "The Correlation between Listening to Classical Music and the Reading Comprehension of Korean Texts -Using Mozart as Background Music-," *J. of Korean Language and Literature Education*, vol. 36, no. 0, Dec. 2015, pp. 309-335.

[5] Y. Jang and H. Yoon, "EEG Signal Analysis for Relativity between Musical Stimulus and Arithmetical Brain Activity," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, Apr. 2018, pp. 481-486.

[6] J. Shim and I. Seung, "Influences of Brain Education Program on Concentration and prefrontal EEG Activation of Children's," *J. of the Korean Child Education*, vol. 18, no. 3, Aug. 2009, pp. 19-36.

[7] S. Jeong and D. Choi, "Analysis of Interrelation Between EEG and Learning Experience on Music," *J. of the Korea Institute of Electrical Engineers*, vol. 2012, no. 10, Oct. 2012, pp. 125-126.

[8] E. Kim, "The effects of musical stimulus on EEG spectra of listeners," *J. of Korean Music Therapy*, vol. 7, no. 1, Jan. 2005, pp. 1-18.

[9] M. K. Stein, M. S. Smith, M. A. Henningsen,

and E. S. Silver, *Implementing Standards-Based Mathematics Instruction*. Virginia: Reston, 2000.

[10] Y. Jung and Y. Jang, "EEG Signal Analysis on Correlation between Mathematical Task Type and Musical Stimuli," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 4, Aug. 2020, pp. 773-778.

저자 소개

정유라(Yu-Ra Jung)



2019년 부경대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2019년~현재 부경대학교 대학원 전기공학과 석사과정

※ 관심분야 : 뇌과학, EEG

장윤석(Yun-Seok Jang)



1985년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1988년 부경대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 일본 토호쿠대학교 대학원 전기 및 통신공학 전공 졸업(공학박사)
1996년~현재 부경대학교 전기공학과 교수
2001년~2002 일본산업종합기술연구소 초청연구원
2008년~2009 미국 Pennsylvania State University 방문교수

※ 관심분야 : EEG Signal Processing