

교육 분야의 EEG 활용에 대한 체계적 문헌 고찰

최서현^{1*} · 김민정² · 김동식³

^{1*}한양대학교 교육공학과 박사과정

²한양대학교 교육공학과 석사과정

³한양대학교 교육공학과 교수

Systematic literature review on domestic educational research using EEG

Seohyun Choi¹ · Min-Jeong Kim^{2*} · Dongsik Kim³

^{1*}Doctor's Course, Department of Educational Technology, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

²Master's Course, Department of Educational Technology, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

³Professor, Department of Educational Technology, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

[요약]

뇌파(EEG)는 인지 과정에 대한 실시간 데이터를 수집할 수 있으며 최근 교실 학습 환경에서 뇌파(EEG)를 활용하는 실증 연구가 활발하게 이루어지고 있어 국내 교육 분야 연구 동향 분석을 통해 향후 뇌파(EEG)의 활용 가능성과 연구 방향을 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 2000년부터 2021년 8월까지 게재된 실증 연구 54편의 연도별 출판 편수, 주제 및 활용 분야, 주요 종속변수, 데이터 수집 및 전처리 조건에 대해 분석하였다. 논문 수는 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 과학, 수학 교과목에서 초등학생 대상 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 10개 내외의 채널을 활용하여 20명 내외의 학습자를 대상으로 주파수, 채널을 측정하며 데이터 수집을 위한 전처리 조건은 샘플링 레이트 256Hz, 하이패스/로우패스 필터 각각 0.1Hz, 70Hz, 노치 필터는 60Hz인 것으로 나타났다. 향후에는 학습자의 주의 집중, 동기 등에 영향을 미칠 수 있는 교수학습 전략 및 변인에 대한 연구가 필요하며, 신체생리학적 데이터를 통해 실증적인 데이터를 확보해야 할 필요가 있다. 분석 결과는 향후 연구의 가이드라인으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

[Abstract]

an EEG (Electroencephalography) is a method that can collect real-time data onto learners' cognitive processes, and recently, empirical studies have been actively conducted in a classroom learning environment. and it is necessary to analyze the trends of research in the field of education in Korea to examine the possibility and research direction of EEG in the future. Therefore, in this study, 54 empirical studies using EEG published in the domestic education field from 2000 to August 2021 were analyzed for publicized paper numbers, subject and domains, major dependent variables, and data collection and preprocessing conditions. articles are constantly increasing, and research on elementary school students is being actively conducted, especially in science and mathematics. In addition, the frequency and channel are measured for around 20 learners using around 10 channels, and the pre-processing conditions for accurate data collection are 256Hz, 0.1Hz, 70Hz, and 60Hz, respectively. Research on teaching and learning strategies and variables that can affect learners' attention and motivation, and physiological data must be secured in the future. It is expected that the analysis results can be used as a guideline on future research.

색인어 : 다중양식 학습 분석, 뇌파, 학습, 인지과정, 체계적 문헌 고찰

Keyword : Multimodal Learning Analytics, EEG, Learning, Cognitive Process, Systematic literature review

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2022.23.2.217>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 14 December 2021; **Revised** 17 January 2022

Accepted 14 February 2022

***Corresponding Author; Dongsik Kim**

Tel: +82-2-2220-1125

E-mail: kimdsik@hanyang.ac.kr

I. 서론

기술의 발달에 따라 시선 추적, 표정 변화, 생리심리반응 등에 대한 데이터를 분석하고 활용하는 다중양식 학습 분석(Multimodal learning analytics)에 대한 관심이 증가하고 있다 [1]. 다중양식 학습 분석은 학습과정 중에 발생하는 뇌파 변화, 심박 변화, 시선 이동 등의 데이터를 수집하여 학습의 다양한 측면을 체계적으로 분석하여 다음 학습 과정에 대해 통찰하고 예측할 수 있도록 한다 [2]. 현재까지 교육 분야에서의 연구는 대부분 실험과 자기 보고식 설문에 기반 하여 학습과정에 대한 연구결과를 도출하였으나, 다중양식 학습 분석의 도입을 통해 다양한 측면의 학습 과정 데이터를 수집하고 분석할 수 있게 되었다. 특히, 기술의 발전에 따라 학습은 많은 상호작용이 결합된 복잡적이고 복잡한 과정이므로 [2] 학습 프로세스는 하나의 데이터가 아닌 다양한 데이터를 기반으로 학습 경험을 분석해야 할 필요가 있다 [3].

다중양식 데이터 중 학습자의 행동에 대한 데이터는 운동적인 측면과 생리적인 측면으로 나누어지며 그 중 생리적 데이터는 자율신경계에 의해 비자발적으로 나타나는 연속적인 데이터이다 [4]. 생리학적인 데이터는 심장, 뇌, 피부 등 신체 부위에 따라 나누어지며 심박수, 심전도 등과 같은 심장 데이터의 경우 정신생리학과 같은 분야에서 생리학적인 상태와 심리학적인 관계를 파악하는데 활용되며, 갈바닉 피부 반응은 피부의 전기적 전도성을 측정하여 학습자의 생리적인 반응을 측정한다 [4]. 또한 뇌파 (Electroencephalography, EEG)는 의학, 신경과학 등의 분야에서 두피의 전극 전압을 통해 측정하여 [5], 질병에 의한 뇌파의 패턴, 주파수 변화 및 감정 변화 등을 측정하는데 많이 활용되고 있다 [3]. 이러한 생리학적인 데이터는 자극에 대한 반응, 변화에 대한 데이터를 제공할 뿐만 아니라 주의 집중, 문제 해결, 의사결정에 대한 개인의 정신적, 정서적 경험에 대한 생리학적인 정보를 제공한다는 이점이 있다 [6].

그 중 뇌파 (EEG)를 활용한 분석 방법은 기술의 발달에 따라 휴대용 기기를 활용할 수 있어 상대적으로 데이터의 수집이 수월해졌으며 [7], 최근에는 교육 분야에서도 뇌파를 활용하여 교실 학습 환경에서 학습자의 변화하는 인지부하를 즉각적으로 관찰하거나 [8] VR 학습환경의 효과성을 뇌파 데이터의 측정을 통해 검증하고 [9], 국내에서도 영재아, 장애아 등을 대상으로 하는 특수한 교육적 맥락에서 뇌파 분석을 활용하는 등 [10],[11] 교육 환경에서 뇌파를 적용하는 것에 대한 관심이 증가하였다. 그러나 여전히 교육적 맥락에서 뇌파를 활용한 실증적 데이터 기반 연구가 부족한 실정이며 [7], 이에 추후 뇌파 분석을 통해 교육적 맥락에서 뇌파를 활용하고 실증적 데이터를 수집하여 연구에 활용하기 위해서는 현재까지 국내 교육 분야에서 뇌파를 활용한 연구에 대한 체계적인 분석을 통해 이후 연구에 적용할 수 있는 가능성과 시사점을 도출해야 할 필요가 있다. 본 연구는 다음과 같은 연구문제의 탐색을 통해 교육적 맥락에서의 뇌파 활용 연구의

방향 및 교육적 활용 방안을 제시하고자 한다.

첫째, 교육 분야에서 뇌파(EEG)를 활용한 국내 연구의 현황(연도별 출판 편수/연구주제 및 활용 분야)은 어떠한가?

둘째, 교육 분야에서 뇌파(EEG)를 활용한 국내 연구에서 주요 종속변수는 무엇인가?

셋째, 교육 분야에서 뇌파(EEG)를 활용한 국내 연구의 데이터 수집 및 처리 조건은 어떠한가?

II. 본론

2-1 뇌파 (EEG) 활용에 대한 해외 연구 동향 분석

다중양식 데이터 및 뇌파를 교육적 목적으로 활용한 연구에 관심이 증가함에 따라 해외에서도 교육적 맥락에서 뇌파 분석을 활용한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 국내에서 진행되는 뇌파 적용 연구와는 다른 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. Xu & Zhong (2018)[7]은 교육 분야에서 휴대용 뇌파 (EEG) 기술을 적용한 22개의 선행 연구에 대한 검토를 통해 해외 뇌파 (EEG) 연구의 동향을 분석한 바 있다. 분석 결과, 뇌파 (EEG)는 주로 읽기 자료, 학습자료 및 매체 표현 방식, 상호작용, 에듀테인먼트 (edutainment), 이러닝 (e-learning), 운동 기술 습득, 학습 성과의 7가지 연구 주제에서 주로 활용되었으며, 주로 주의 집중과 휴식을 측정하였다. 또한, 주로 대학생을 연구대상으로 하여 60분 내외로 뇌파를 측정하는 것으로 드러났다. 국내에서도 뇌파를 활용한 임상분야[12],[13],[14]의 의학, 심리훈련[15], 게임 [16],[17]의 연구에 대한 동향 분석이 이루어진 바 있으나 교육 분야, 특히 교실 상황에서의 뇌파 활용에 대한 분석은 부족한 실정이다.

그러나 국내에서도 영재아 또는 장애아 등을 대상으로 하여 뇌파를 활용하여 학습자의 특성 분석 또는 효과성 검증을 위한 국내 선행 연구가 진행되고 있어 [10],[11] 국내 교육 분야의 연구에서의 선행연구를 분석해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 교수 설계 및 교수법, 매체 활용의 실증적인 효과성 검증을 위해 뇌파를 어떻게 활용할 수 있을지에 대한 시사점을 도출하고 추후 국내 연구 동향과의 비교를 위하여 해외 선행연구를 분석하고 이들의 연구 목적 및 활용 분야 등을 확인하였다. 먼저, Chih-Ming Chen과 동료들 (2017)[18]은 이러닝 학습 환경에서의 학습자의 주의 집중을 파악하기 위한 시스템(Attention Aware System) 고안을 위하여 뇌파를 활용하였으며, Delahunty와 동료들 (2018)[19]은 STEM 교육 문제해결과정에서의 뇌파 측정을 통해 학습자의 인지 과정에 대한 객관적이고 실증적인 데이터를 제시한 바 있다. Chih-Ming Chen과 동료들 (2016)[20]은 또한 효과적인 읽기 학습을 위하여 모바일 환경에서 적합한 텍스트 표시 유형에 대한 연구를 통해 뇌파를 측정하고 학습자의 지속적인 집중력에 대해 측정하였다. 해외

선행연구의 분석을 통해 이처럼 교수 설계 및 학습 자료의 효과성 확인을 위한 주의 집중, 동기 부여에 대한 뇌파 (EEG) 측정 시도가 해외에서는 지속적으로 이루어지고 있으며, 기존의 학습 맥락에서 중요하게 다루어왔던 변수들에 대한 실증적인 데이터를 수집하고자 하는 노력을 하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 해외 선행 연구에 대한 분석 결과를 바탕으로 현재 국내에서 진행되고 있는 뇌파 (EEG)를 활용한 연구를 분석하고 해외 동향과 비교하여 어떤 차이점이 있는지, 향후 국내에서 뇌파 (EEG)를 활용한 교육 연구가 어떻게 진행되어야 할지에 대한 제언과 시사점을 도출하고자 하였다.

III. 연구 방법

국내 교육 분야에서의 뇌파 (EEG) 활용 연구에 대한 연구 동향을 파악하여 효과적인 뇌파 (EEG)의 교육적 활용을 위한 시사점을 제안하고자 체계적 문헌 고찰을 실시하였다. 문헌 검색 및 선별을 위해 Kitchenham (2004)[21]의 계획 (Planning), 실행 (Conducting), 보고 (Reporting)의 세 단계에 따라 상세 과정은 <표 1>과 같다.

각 단계의 문헌 선별과정과 분석기준에 따른 분류는 Xu & Zhong (2018)[7]의 EEG 활용 연구 동향 분석 기준에 따라 연구 현황, 주요 종속 변수, 실험 절차 관련 세부 항목을 기초로 국내 문헌을 분석하였고, 추가적으로 뇌파 데이터 측정 및 전처리를 위한 조건을 분석하였다.

표 1. Kitchenham (2004)의 체계적 문헌 고찰 절차
Table 1. Kitchenham (2004)'s procedures for systematic literature review

Steps	Procedures
Planning	The need for a systematic review
	Development of a Review Protocol
Conducting	Identification of Research
	Study Selection
	Study Quality Assessment
	Data Extraction
	Data Synthesis
Reporting	Structure for systematic review
	Peer Review

1차로 연구는 ‘뇌파’, ‘EEG’, ‘Electroencephalography’, ‘Brainwave’, ‘뇌파변화’, ‘뇌파측정’을 키워드로 RISS, KISS, 국립중앙도서관, 국회도서관 총 4개의 온라인 서지 검색

사이트에 게재된 문헌을 검색하였다. 그러나 현재 의학, 공학 분야와 더불어 다양한 분야에서 뇌파를 활용한 연구들이 활발하게 이루어지고 있어 국내에서 뇌파를 활용한 연구가 활발해지기 시작한 시점인 2000년부터 2021년 8월까지 교육 분야의 학술지에 게재된 문헌으로 검색기준을 세분화하여 총 226편의 문헌을 1차로 수집하였다.

연구목적에 따라 검색된 문헌 중 체계적 문헌 고찰에 포함할 논문의 선정 기준을 설정하여 학위논문, 학술발표 및 단행본, KCI 비등재지 논문들은 제외하였고, 국내 교육 분야에서의 뇌파 (EEG) 활용이라는 연구 목적에 맞추어 한국어가 아닌 언어로 작성된 논문들은 제외하였다. 또한, 교육 분야가 아닌 학술지에 게재되었거나 교육 분야의 학술지에 게재된 논문 중에서도 교육적 목적과 맥락에서 진행된 실험 연구가 아닌 문헌을 제외한 후 최종적으로 54편을 분석대상으로 선정하였다. 최종적으로 선정된 54편의 문헌은 분류 기준 및 정의에 대해교육공학과 교수 1명, 교육공학 박사과정 1명, 교육공학 석사과정 1명, 총 3인이 논의한 이후에 분석하였으며 문헌 선별 절차의 상세 과정은 [그림 1]과 같다.

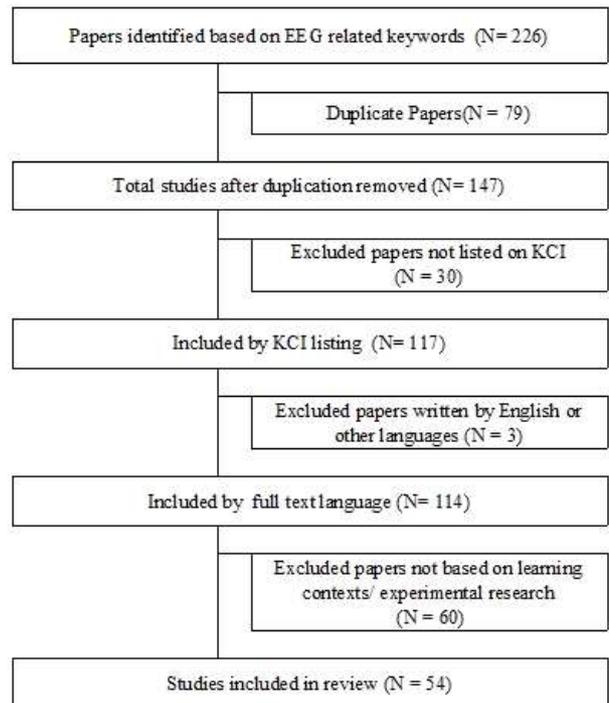


그림 1. 문헌 선별 절차
Fig. 1. an overview of the search protocol

IV. 연구 결과

4-1 연구 현황

1) 연도별 출판 현황

본 연구에서는 국내 교육 분야에서의 뇌파 활용에 대한 연구 현황을 분석하기 위해 연도별 출판 편수와 연구 분야를 분류하였다. 분석 결과, 교육 분야에서 뇌파를 활용한 연구의 연도별 출판 편수는 <표 2>와 같다. 2000년 - 2021년 사이에 출간된 논문의 수는 매년 유사하게 나타났으나, 10년 단위로 나누었을 때 2000년에서 2010년 사이에는 22편, 2011년에서 2021년 사이에는 32편이 출간되어 2000년대 대비 2010년대에 출판된 논문의 수가 증가한 것을 확인하였다. 이러한 분석 결과를 통해 교육적 맥락에서 뇌파 분석을 접목하려는 시도가 지속적으로 이루어져 왔고, 실제로 적용하는 연구의 수가 조금씩 증가하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 연도별 논문 출판 현황

Table 2. Number of published papers by years

Years	Number of Papers	Years	Number of Papers
2000	1	2011	3
2001	3	2012	3
2002	1	2013	0
2003	2	2014	3
2004	1	2015	3
2005	0	2016	7
2006	2	2017	2
2007	1	2018	5
2008	2	2019	3
2009	4	2020	3
2010	5	2021	0
Total		54	

2) 교과 영역

뇌파 측정을 적용한 교과 영역에 대한 분석을 통해 다양한 교과 영역에서 뇌파를 활용하고 있음을 확인하였으며, 8개의 교육적 연구 주제가 분류되었다. 분석 결과 총 26편으로 가장 많은 연구가 이루어진 교과영역은 ‘과학’이며, 이어서 ‘수학(10편)’, ‘국어(6편)’등에서 뇌파 분석을 활용한 연구가 진행되었다. 이외에도 창의적 사고과제나 디자인(설계)과 관련된 문제를 통해 학습자의 뇌파를 분석한 연구는 7편으로 확인되었다. 교과영역별 논문 편수는 <표 3>과 같다.

뇌파 측정 시에 활용한 세부 과제의 경우 과학(26편)분야에서는 관찰을 통해 분류하거나 가설을 생성하는 등과 같은 활동이 주를 이루었다. 수학(10편)분야의 경우, 문자로 서술된 개념이나 원리가 시각적으로 표현된 문제, 즉 3차원 문제를 해결하거나 도형과 관련된 문제를 많이 활용하였다. 기타

(7편)분야의 경우, 주로 사고나 발명과 관련된 문제를 다루었으며, 국어(6편)분야의 경우, 읽기 영역과 더불어 시 낭독, 책 읽기, 공간지각능력, 기억력검사 등에 대한 과제 제시가 주를 이루었다. 이외에도 공간지각능력과 관련된 문제를 다룬 체육 분야(2편), 발명교육과 관련된 공학 분야(1편), 창의적 사고과정을 요하는 미술 분야(1편), 프로그래밍 과제를 통해 뇌파 변화를 측정된 컴퓨터 분야(1편) 등에서 뇌파를 활용한 것으로 나타났다.

표 3. 교과영역별 논문 편수

Table 3. Research topic of papers

Research topic of papers			
Science	26	P.E.	2
Mathematics	10	Technology	1
Thinking skills	7	Computer Education	1
Korean	6	Arts	1
Total		54	

3) 실험 참여자 연령

교육 분야에서의 뇌파 활용 연구를 위해 참여한 학습자의 연령대를 분석한 결과, <표 4>와 같이 나타났다. 분석 결과, 초등학생을 대상으로 실험이 진행된 논문이 총 19편으로 가장 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 교육 분야에서 사용하는 뇌파 연구에서 사용되는 대부분의 학습 과제는 정규 교과내용을 다루었기 때문으로 볼 수 있다. 그 뒤를 이어 성인을 대상으로 실험이 진행된 논문은 13편으로 확인되었다. 하지만 최종적으로 분석된 논문에 미취학 아동을 대상으로 한 연구는 상대적으로 미비하여 향후 미취학 아동을 대상으로 뇌파를 측정하여 교육의 효과성을 분석하는 연구가 이루어져야 할 것으로 확인되었다.

4) 실험 참여자 수

뇌파를 활용한 실험 연구 진행 시의 실험 참여자 수에 대해 분석한 결과 5명~20명을 대상으로 한 연구가 총 26편으로 가장 많은 것으로 확인되었다. 이는 아직까지 뇌파가 교육 분야에서 다 인원을 대상으로 사용하기에는 기술적 한계가 존재하기 때문에 소수의 인원만으로 연구가 진행된 것이라고 볼 수 있다. 또한 현재 뇌파 활용 연구의 상당수가 뇌파를 컴퓨터로 전달받아 필요한 작업을 수행하는 점[22]과 논문 편수가 참여자 수가 60명을 기준으로 급격하게 감소하는 것을 미루어봤을 때, 역시 다 인원을 대상으로 연구를 진행하는 데에 한계가 있음을 예상해볼 수 있다. 실험 참여자 인원별 논문 편수는 <표 5>와 같다.

표 4. 실험 참여자 연령

Table 4. Sample groups' age selected for EEG experiments

Sample groups' age	Number of papers
Under elementary School	0
Elementary School	19
Middle School	11
High School	11
University	13
Total	54

표 5. 실험 참여자 수

Table 5. Number of participants for EEG experiments

Number of Participants)	Number of Papers
5 ~ 20	26
21 ~ 40	16
41 ~ 60	9
61 ~ 80	0
80 ~	3
Total	54

4-2 주요 종속변수 분석 결과

앞선 분석에서 뇌파 활용에 대한 연구가 특정 과목에 한정되지 않고 다양한 교육적 주제를 통해 연구가 이루어졌음을 확인하였다. 하지만 주요 종속변수를 분석해본 결과, 대다수의 연구에서 종속변수를 '두뇌활성'을 측정하였으며 총 44편으로 확인되었고, 두뇌 활성의 유무를 판단하는 하위변수로는 관찰하거나 분류하는 학습과제가 많은 것으로 확인되었다. '주의 집중'이나 '정서 반응'을 측정한 연구가 각각 3편, 2편으로 나타났다. 주요 종속변수를 분석한 논문 편수는 <표 6>과 같다.

두뇌 활성을 종속 변수로 활용한 논문의 경우 학습 상황에 따라 학습자의 알파, 베타, 세타, 감마파를 세부적으로 분석하였는데, 뇌파의 변화를 통해 나타나는 네 가지의 델타, 알파, 베타, 세타파는 개인의 감각, 지각, 움직임과 더불어 학습 및 기억과 관련된 인지 활동의 직접적인 지표로 활용될 수 있기 때문이다 [8]. 세타파는 해마와 근접 뇌 영역에서 발견되며 연합학습, 부호화 및 인출, 시각적 작업기억 등과 관련이 있고, 알파파는 눈을 감고 있는 안정된 상태로 학습 과정에서 나타나는 뇌파로 규정하기는 어렵지만 기억력과 집중력과 밀접한 관계가 있으며 [23],[24], 주의가 필요한 학습 활동에 있어서 정보처리 속도와도 중요한 연관성이 있다 [24]-[26]. 또한, 베타파는 업무나 과제를 수행할 시에 집중력이 필요한 문제를 해결할 때 활성화되는 부분으로 [27] 저감파라고도 불리며, 마지막으로 감마파는 청각, 시각, 피부 및 자기 감각과 운동 감각으로 발견되어 자발적인 움직임, 주

의, 작업기억, 기억 회상 등과 관련이 있으며 세타파와 동시에 발견되는 특징이 있다 [23]. 이와 같이 학습 상황에서 학습자의 두뇌가 활성화되면서 인지과정에 따라 뇌파의 주파수가 지속적으로 변화하기 때문에 대부분의 선행 연구에서 두뇌 활성을 종속 변수로 하여 세부적인 주파수를 측정하는 것으로 볼 수 있다.

표 6. 주요 종속변수

Table 6. Cognitive aspects measured in research

Cognitive aspects	Number of papers
Brainwave activation	44
Others	5
Attention	3
Emotion(frustration, excitement)	2
Total	54

4-3 데이터 수집 및 처리

1) 채널 수

뇌파에서 채널은 머리 표면에 활성 전극을 부착하여 측정하고자 하는 뇌파변화를 확인하기 때문에 확인하고자 하는 변인이 무엇인지에 따라 정확한 부위에 전극을 위치시켜야 한다. 정확한 뇌파측정을 위해서는 두뇌 전체에 전극을 부착하여 진행하는 것이 정확하겠지만 실제로 학습 과제 활동에서 두뇌 전체의 뇌파를 자연스럽게 측정하기에는 어려움이 존재한다 [28]. 뇌의 특정 부위에서 발견되는 질병을 확인하는 것이 목적이 아니며 학습과 관련된 정신적 노력을 중심으로 연구할 때는 대부분 전전두엽 부위를 활용하기 때문에 [29], 소수의 채널을 사용하여 학습과 관련된 뇌파를 측정하는 것으로 나타났다. 연구에 사용된 뇌파 채널 수와 관련하여 확인된 논문 편수는 <표 7>와 같다.

표 7. 연구에 사용된 EEG 채널 수

Table 7. Number of EEG channels used in EEG experiments

Number of EEG channels	Number of papers
2 ~ 10	22
11 ~ 20	13
21 ~ 30	3
31 ~ 40	8
41 ~ 50	1
Others	7

2) 데이터 전처리 조건

교육 분야에서의 뇌파 활용 연구를 위해 사용된 데이터 전처리 조건은 <표 8>과 같이 나타났다. 뇌파 측정 시 유의미한 데이터를 확인하기 위해서는 신체 활동으로 인해 발생하는 내부적 요인과 외부 센서 장치들로 인해 발생하는 외부적인 요인을 필터링하여 최소화 시켜야 한다[30]. 뇌의 신경세포 활동에서 발생한 파동이 아닌 잡음(noise)을 제거하기 위해서는 저주파 성분을 제거하기 위한 하이패스 필터(HPT; High pass filter)와 고주파 성분을 제거하기 위한 로우패스 필터(LPF; Low pass filter)를 사용하는데[31],[32], 뇌파가 통과하는 필터의 범위를 설정하는 것으로 가장 높은 통과 필터로는 0.1Hz, 가장 낮은 통과 필터로는 70Hz로 확인되었다. 샘플링 레이트(Sampling rate)은 1초의 단위시간당 데이터를 기록하는 횟수를 의미하며 [33] 교육 분야에서 뇌파 신호를 확인하는 주파수로 256Hz를 사용하는 비율이 높았다. 노치 필터(Notch filter)는 1 Hz 단위의 특정 주파수를 차단시키기 위해 설정하는 필터로 대부분 60 Hz 단위의 교류전류를 차단할 목적으로 사용되며 [33], 본 분석 결과에서도 대부분의 연구에서 60Hz를 사용한 것으로 나타났다. 연구에 사용된 데이터 전처리 조건은 다음과 같다.

3) 데이터 측정 시간

<표 9>을 통해 교육 분야의 뇌파 활용 연구에서 측정된 데이터 시간을 확인해본 결과, 가장 많은 문헌이 파악된 구간은 0.1~60초 구간으로 총 17편의 논문이 확인되었다. 이러한 결과는 뇌파를 기록하기 위해서는 잡파(artifacts)가 없는 안정된 상태를 측정해야하는데 잡파는 신호를 왜곡시켜 원본 뇌파 데이터를 훼손시키기 때문에 이를 최소화하는 방법으로 잡파를 제거하는 후처리가 필수적이다 [30]. 연구에 사용된 데이터 측정 시간과 관련하여 확인된 논문 편수는 다음과 같다.

표 8. 데이터 전처리 조건

Table 8. Conditions for data processing

Sampling rate	High pass filter	Low pass filter	Notch filter
256 ~ 1024	0.1 ~ 13	30 ~ 70	60

표 9. 데이터 측정 시간

Table 9. Time span of data used in analysis

Time span (sec)	Number of papers
0.1 ~ 60	17
61 ~ 100	0
101 ~ 200	6
201 ~ 300	4
300~	11
Others	16

V. 결 론

본 연구는 국내 교육 분야에서 뇌파를 적용한 실증 연구에 대한 체계적 문헌 고찰을 통해 국내 교육 분야 뇌파 연구의 동향을 파악하고, 향후 교육 분야 연구에서 뇌파를 적용하여 인지과정 및 학습에 대한 실질적인 데이터를 얻을 수 있도록 시사점을 도출하고자 하였다. 본 연구는 2000년부터 2021년까지 국내에 발표된 54편의 논문을 대상으로 하였으며, 연구 현황 (연도별 출판 편수/연구 주제 및 활용 분야)과 더불어 연구의 주요 종속변수, 데이터 수집 및 처리 조건에 대해 알아 보았다. 분석한 결과를 토대로 도출된 연구의 결론 및 향후 연구를 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 국내 교육 분야의 뇌파 적용 연구 출판 편수는 전반적으로 큰 변동 폭을 보이고 있지는 않았으나, 10년 단위로 출판 편수를 비교한 결과 2000년대 대비 2010년대의 출판 편수는 상대적으로 크게 증가한 것으로 드러났다. 이는 교육적 맥락에서 뇌파를 적용하고자 하는 시도가 지속적으로 증가하고 있음을 나타내며, 뇌파 측정은 다양한 교과영역에서 활용되고 있으나 초등학생을 중심으로 과학, 수학의 교과목에서 많은 연구가 진행되어[34],[35] 기존 교육 분야에서 뇌파를 활용한 연구는 영재아 및 장애아 등 특정 학습 대상자의 뇌파 특성 [10],[11]을 파악하고자 하는 연구가 많이 진행되었음을 알 수 있다. 연구 참여 대상자의 수는 주로 5~20명을 대상으로 연구가 진행되었으며, 해외 연구 동향 분석에서도 20명 내외의 참여자를 대상으로 한 연구가 가장 많았으며 이러한 이유는 Xu & Zhong (2018)[7]이 언급한 바와 같이 실제 학습 환경에서 다수 학습자의 뇌파 데이터를 동시에 수집하는 것에 대한 어려움이 존재하며 뇌파 데이터의 특성 상 짧은 시간에도 방대한 양의 데이터가 생성되기 때문인 것으로 보인다.

둘째, 국내 교육 분야의 뇌파 적용 연구의 주요 종속 변수를 분석한 결과, 54편 중 44편의 연구에서 ‘두뇌활성’ 정도를 종속변수로 측정하였으며, 특정 과제를 수행 시에 나타나는 주파수 및 채널의 활성화를 측정하였음을 알 수 있다. 기존 연구들에서는 외부 잡파를 최소화하고 심적으로 안정된 상태를 기준으로 두뇌가 활성화되는지 여부를 확인하였다. 이러한 종속 변수의 설정은 특정 학습 환경에서 학습자의 인지 과정 및 뇌파 변화를 전반적으로 살펴보기 위함이라고 볼 수 있다. 그러나 Xu & Zhong (2018)[7]의 분석 결과, 해외 연구들에서는 주로 주의 집중(attention)과 휴식(relaxation), 일부 연구에서 학습 상황에서의 감정(emotion)을 측정하는 등 국내 연구 동향 분석 결과가 차이가 존재하여 향후 국내 연구에서도 두뇌활성 정도와 더불어 학습 과정에서 측정할 수 있는 주의 집중, 동기, 흥미와 같은 다양한 변수에 대한 뇌파의 활용이 필요하다.

셋째, 일반적으로 센서 채널의 수에 따라 뇌파의 정확도에 차이가 존재하지만 [36] 전극 센서의 부착이 오히려 학습을 방해할 수 있으므로 교육적 맥락에서 활용될 수 있는 적절한 채널의 개수를 확인하기 위하여 문헌들에서 사용한 뇌파 측

정 채널의 개수를 분석하였다. 분석 결과 2~10개의 채널을 활용하여 뇌파를 측정된 연구가 가장 많은 것으로 드러났으며, 이는 교육적 맥락에서 소수의 채널을 활용하여 뇌파 데이터를 수집하는 것이 용이하며 학습 상황에서 학습에 대한 방해 없이 뇌파를 측정할 수 있는 채널의 수로 연구 결과를 도출한 것으로 볼 수 있다. 뇌파 데이터는 학습 대상이나 환경에 따라 접촉 불량, 탈구 등이 발생할 수 있고 [7] 지속적으로 데이터가 변화하기 때문에 노이즈가 없는 데이터의 확보가 필요하다. 정확한 데이터의 확보를 위한 선행 연구들의 데이터 전처리 조건을 분석한 결과 샘플링 레이트(Sampling rate)는 주로 256Hz, 하이패스 필터와 로우패스 필터는 각각 0.1Hz, 70Hz, 노치 필터는 주로 60Hz를 사용한 것으로 나타났다. 또한, 뇌파 측정 시 데이터 분석에 활용한 시간은 0.1~60초 내외인 경우가 많은 것으로 나타났다. 이는 뇌파의 잡파를 제거한 안정된 상태의 데이터를 확보하기 위해서인 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 향후 국내 교육 분야에서 뇌파를 활용한 연구를 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 국내 교육 분야의 뇌파 연구 현황 분석을 통해 더 다양한 교육 분야 및 주제에서의 뇌파 적용에 대한 필요성을 확인하였다. 지금까지 진행된 국내 연구는 주로 초등학생을 대상으로 수학, 과학 교과목에 뇌파분석기법을 적용한 연구가 주를 이루고 있다. 특정 특성을 가진 학습자에 대한 뇌파 분석 연구 이외에도 학습 상황에서 학습자의 주의 집중 및 동기, 감정에 영향을 미칠 수 있는 다양한 교수설계 전략 및 변인에 대한 연구가 진행되어야 할 필요가 있다.

둘째, 뇌파와 더불어 학습자의 주의 집중, 동기, 감정 등 학습 상황과 관련이 있는 아이트래킹과 같은 추가적인 신체생리학적 데이터의 수집을 통해 다각적으로 살펴보아야 할 필요가 있다. 앞서 언급한 것과 같이 학습자의 인지과정에 대한 다각적 측면의 데이터 수집 및 분석에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이나, 기존의 교수설계전략에 대한 효과성은 실험 및 자기보고식 설문에 의해서만 검증되었으므로, 아이트래킹과 뇌파 분석 기법의 적용 등을 통해 실제 학습자의 인지 과정을 실증적인 데이터를 통해 확인한다면 추후 더욱 효과적인 교수-학습 활동의 설계와 지원이 가능할 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 연구 동향 및 주제에 대한 방향성 제시와 더불어 데이터 전처리 조건 및 측정 시간에 대해 분석하였다. 이러한 데이터 수집 및 처리에 대한 기존 연구들의 분석을 통해 신뢰성 있는 뇌파 데이터 확보 및 처리를 위한 가이드라인을 제시하였다. 지속적으로 변화하는 뇌파 데이터의 특성은 실시간 데이터를 확보할 수 있다는 장점을 가지는 것과 동시에 일관적이지 않고 데이터의 수가 기하급수적으로 증가하여 안정된 데이터의 확보와 데이터 처리가 용이하지 않다는 한계점이 있다. 그러나 본 연구에서의 데이터 전처리 과정 및 측정 시간에 대한 분석 결과는 추후 교육적 맥락에서의 뇌파 적용 시에 데이터의 수집 및 처리에 대한 하나의 지침으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] D. Spikol, E. Ruffaldi, G. Dabisias and M. Cukurova, "Supervised machine learning in multimodal learning analytics for estimating success in project-based learning". *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 3, No. 4, pp. 366-377. May 2018. <https://doi.org/10.1111/jcal.12263>
- [2] D. Di Mitri, M. Scheffel, H. Drachsler, D. Börner, S. Ternier and M. Specht, "Learning pulse: A machine learning approach for predicting performance in self-regulated learning using multimodal data". in *Proceedings of the 7th international learning analytics & knowledge conference*, New York: NY, pp. 188-197, 2017. <https://doi.org/10.1145/3027385.3027447>
- [3] W. L. Zheng, W. Liu, Y. Lu, B. L. Lu and A. Cichocki, "Emotionmeter: A multimodal framework for recognizing human emotions". *IEEE transactions on cybernetics*, Vol. 49, No. 3, pp. 1110-1122. Feb 2018. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2018.2797176>
- [4] D. Di Mitri, J. Schneider, M. Specht and H. Drachsler, "From signals to knowledge: A conceptual model for multimodal learning analytics". *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 34, No. 4, pp. 338-349. Jul 2018. <https://doi.org/10.1111/jcal.12288>
- [5] L. E. Nacke, S. Stellmach and C. A. Lindley, "Electroencephalographic assessment of player experience: A pilot study in affective ludology". *Simulation & Gaming*, Vol. 42, No 5, pp. 632-655, Oct 2011. <https://doi.org/10.1177/1046878110378140>
- [6] R. D. Ward and P. H. Marsden, "Physiological responses to different web page designs". *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 59, No. 1-2, pp. 199-212. Jul 2003. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00019-3)
- [7] J. Xu and B. Zhong, "Review on portable EEG technology in educational research". *Computers in Human Behavior*, Vol. 81, pp. 340-349, Apr 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
- [8] P. Antonenko, F. Paas, R. Grabner and T. Van Gog, "Using electroencephalography to measure cognitive load". *Educational Psychology Review*, Vol. 22, No. 4, pp. 425-438. Apr 2010. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>
- [9] S. Baceviciute, T. Terkildsen and G. Makransky, "Remediating learning from non-immersive to immersive media: Using EEG to investigate the effects of environmental embeddedness on reading in Virtual Reality". *Computers & Education*, Vol. 164, pp. 104-122.

- Apr 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104122>
- [10] S. W. Kwon, "Brain Lateralization of Gifted Children in Creative Thinking Process", *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, Vol. 16, No. 3, pp. 487-501. 2016
- [11] S. H. Han, B. U. Jeon and K. S. Cho, "Effects of brain wave conditioning on attention and memory of students with mental retardation". *The Korean Society of Special Education*, Vol 35, No. 1, pp. 271-307. 2000.
- [12] J. H. Lim, J. H. Cho, J. H. Kim, L. H. Kim, H. W. Kang and B. K. Kim, "A Review on Clinical Research of Acupuncture Using Electroencephalogram". *Journal of Oriental Neuropsychiatry*, Vol. 32, No. 4, pp. 345-378. 2021.
- [13] H. S. Kwak and J. H. Park, "Electroencephalography for Occupational Therapy for Stroke Patients: A Literature Review". *Therapeutic Science for Rehabilitation*, Vol. 7, No. 2, pp. 9-16. 2018.
<https://doi.org/10.22683/tsnr.2018.7.2.009>
- [14] J. S. Kim, J. Y. Joo and H. J. Park, "Measurement Using Electroencephalography in Stroke Rehabilitation : Literature Review". *Korean Academy of Neuromuscular Rehabilitation*, Vol. 5, No. 2, pp. 53-59. 2015.
- [15] B. W. Jang and S. J. Oh, "Analysis of psychological training research trends using EEG biofeedback." *The Research Institute of Physical Education & Lifetime Sports Science*, Vol. 19, pp. 49-60. 2007.
- [16] G. J. Kim and J. S. Han, "A Review of Research Trends on Brain Computer Interface(BCI) Games using Brain Wave". *Journal of Digital Convergence*, Vol. 13, No. 6, pp. 177-184. 2015.
<https://doi.org/10.14400/JDC.2015.13.6.177>
- [17] G. H. Oh, "Trends in game development using brainwave interface devices". *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers* Vol. 26, No. 12, pp. 42-48. 2008.
- [18] C. M. Chen, J. Y. Wang and C. M. Yu, "Assessing the attention levels of students by using a novel attention aware system based on brainwave signals". *British Journal of Educational Technology*, Vol. 48. No. 2, pp. 348-369. Nov 2017. <https://doi.org/10.1111/bjjet.12359>
- [19] T. Delahunty, N. Seery and R. Lynch, "Exploring the use of electroencephalography to gather objective evidence of cognitive processing during problem solving". *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 27, No. 2, pp. 114-130. Sep 2018. <https://doi.org/10.1007/s10956-017-9712-2>
- [20] C. M. Chen and Y. J. Lin, "Effects of different text display types on reading comprehension, sustained attention and cognitive load in mobile reading contexts". *Interactive Learning Environments*, Vol. 24, No. 3, pp. 553-571. Feb 2016. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.891526>
- [21] B. Kitchenham, Procedures for performing systematic reviews, *University of Keele*, Staffordshire: UK, Technical Report 0400011T.1, 2004
- [22] G. H. Oh, "A review of game development trends using brain wave interface". *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 26, No 12, pp. 42-48. 2006.
<https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO200805441025351&oCn=JAKO200805441025351&dbt=JAKO&journal=NJOU00290837>
- [23] H. J. Jeon and S. H. Lee, "Electroencephalography of Learning and Memory". *The Korean Society Of Biological Psychiatry*, Vol. 23, No. 3, pp. 102-107. Jul 2016.
<http://journal.biopsychiatry.or.kr>
- [24] S. A. Lee and H. S. Byun, "Analysis of Learners' Cognitive Learning Activities Using Brain Waves", *Journal of Educational Technology*, Vol. 37, No. 3, pp. 649-679. 2021. <http://dx.doi.org/10.17232/KSET.37.3.649>
- [25] A. Glass, "Significance of EEG alpha asymmetries in cerebral dominance". *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 11, No. 1, pp. 32-33. Jul 1991.
[https://doi.org/10.1016/0167-8760\(91\)90143-l](https://doi.org/10.1016/0167-8760(91)90143-l)
- [26] C. L. Larson, R. J. Davidson, H. C. Abercrombie, R. T. Ward, S. M. Schaefer, D. C. Jackson, J. E. Holden and S. B. Perlman, "Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power". *Psychophysiology*, Vol. 35, No. 2, pp. 162-169. Apr 2001.
<https://doi.org/10.1111/1469-8986.3520162>
- [27] S. Park, *Neuropsychology*. Goryeo Medicine, GM: Seoul, 2001.
- [28] E. J. Kim and J. Y. Shim, " Effects of Motivation Activity in Brain Education on Middle-School Students' Concentration and EEG(electroencephalogram) Activation". *Journal of Brain Education*, Vol. 5, pp. 27-52. 2010. <https://kiss-kstudy-com-ssl.access.hanyang.ac.kr/thesis/thesis-view.asp?key=3144265>
- [29] Y. J. Kim and N. K. Chang, "A study on the use of the prefrontal brain waves for the assessment of brain hemisphericity". *The Korean Society of Biology Education*, Vol. 29, No. 1, pp. 87-97. 2001.
https://kiss16-kstudy-com-ssl.access.hanyang.ac.kr/kiss61/download_viewer.asp
- [30] J. S. Yun and J. H. Kim, "A Study on EEG Artifact Removal Method using Eye tracking Sensor Data".

Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers, Vol. 22, No. 4, pp. 1109-1114. Dec 2018. <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07596032APA>

- [31] W. S. Park and J. W. Lee, "Effects of the Frequency Band Pass Filter on the P300 Event-related Potential in the Working Memory", *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*, Vol. 8, No. 2, pp. 131-138. May 2020. <https://doi.org/10.15268/ksim.2020.8.2.131>
- [32] J. S. Eom, Y. J. Eum, J. H. Sohn and K. B. Park, "Effects of high pass filter settings on P300 waveform". *Science of Emotion and Sensibility*, Vol. 13, No. 1, pp. 179-186. Mar 2010. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201023557658769.page>
- [33] J. Heo and K. Chung, "EEG Recording Method for Quantitative Analysis". *Korean Journal of Clinical Laboratory Science*, Vol. 51, No. 4, pp. 397-405. Dec 2019. <https://doi.org/10.15324/kjcls.2019.51.4.397>
- [34] S. W. Kwon, "Characteristics of Brain Activation according to Spontaneous Question and Evoked Question in Scientific Inquiry about Biological Phenomenon: MEG & EEG study". *Korean Association For Learner-Centered Curriculum And Instruction*, Vol. 19, No. 12, pp. 1047-1063. 2019. <http://dx.doi.org/10.22251/jlcci.2019.19.12.1047>
- [35] S. J. Kim, Y. M. Kwon and J. S. Bae, "The Effects of Open-ended Problems on Mathematical Creativity and Brain Function". *The Korea Society of Elementary Mathematics Education*, Vol. 14, No. 3, pp. 723-744. 2010.
- [36] H. G. Han and B. M. Lee, "Comparative Analysis of Sleep Stage according to Number of EEG Channels". *The Korea Contents Society*, Vol. 21, No. 2, pp. 140-147. Feb 2021. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.02.140>



최서현(Seohyun Choi)

2017년 : 한양대학교 영어교육 학사
2019년 : 한양대학교 교육공학 석사

2021년~현재 : 한양대학교 대학원 교육공학과 박사과정
※ 관심분야 : 문제 해결 (Problem-solving), 생산적 실패 (Productive failure), 컴퓨터 기반 협력학습 (CSCL)



김민정(Min-Jeong Kim)

2020년~현재 : 한양대학교 교육공학과 석사 과정

※ 관심분야 : 교수설계 (Instructional Design), E-learning, 컴퓨터 기반 협력학습 (CSCL), 문제 해결 (Problem-solving)



김동식(Dongsik Kim)

1986년 : Florida State University (교육공학 석사)
1990년 : Florida State University (교육공학 박사)

1993년~현재 : 한양대학교 교육공학과 교수
※ 관심분야 : 교수설계 (Instructional Design), E-learning, 컴퓨터 기반 협력학습 (CSCL), 문제 해결 (Problem-solving)