

디지털 학습자료에 대한 교육신경학적 이해와 교육적 시사점

조주연* · 김미현**

서울교육대학교 교육학과*, 서울교육대학교 교육심리학과**

요 약

이 연구는 뇌과학과 교육을 접목하는 교육신경학의 관점에 기초한 연구이다. 이 관점에 기초하여 디지털 학습자료 활용의 뇌과학적 근거를 확인함과 아울러 교육적 시사점을 도출하는 것을 연구의 목적으로 하였다. 이 연구에서 얻어진 결과를 결론으로 제시하면, 다음과 같다. 첫째, 디지털 학습자료를 통한 다양한 감각 자극은 다중감각신경, 상구 심층부 등을 거치며 협동적 정보처리를 가능하게 한다. 둘째, 디지털 학습자료로 인한 간접경험은 거울신경계를 거쳐 학습 내용을 생생하게 이해하도록 도와준다. 셋째, 디지털 학습자료들이 일으킨 긍정적인 감정은 도파민, 망상활성체계, 전두 선조체, 대뇌 피질 등의 기능을 활성화시켜 준다. 이 연구의 결과를 통해 제시되는 교육적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 교사는 디지털 학습자료를 선정할 때 표현 양식, 학습 내용, 수업의 흐름 및 역기능 측면까지 고려해야 한다. 둘째, 수업 장면에 따라 다양한 디지털 학습자료를 호기심과 즐거움의 유발, 흥미와 노력의 유지, 학습한 내용에 대한 복습의 목적으로 사용하는 것은 수업 효과를 위해 바람직하다.

키워드 : 디지털 학습자료, 뇌기반 교육, 교육신경학, 다중감각신경, 거울신경계, 감정

Education-neurological Understanding of Digital Learning Materials and Implications for Education

Joo-Yun Cho* · Mi-Hyun Kim**

Seoul National University of Education, Dept. of Education*, Dept. of Educational Psychology**

ABSTRACT

This study establishes the scientific basis for the use of digital learning materials through the education-neurological research method and derives implications for education based on education-neurological understandings. The main findings of the education-neurological analysis of digital learning materials are as follows: First, various sensory stimuli go through multiple sensory neurons and deep sections of the upper sphere and make possible the cooperative processing of information. Second, indirect experience from digital learning materials helps students understand the learning contents vividly through the mirror neuron system. Third, positive emotions originating from digital learning materials promote functions of dopamine, the reticular activating system, frontal-striatal circuit, cerebrum cortex. Based on the findings, the study suggests the following educational implications. First of all, when selecting digital learning materials, teachers should consider expression forms, learning contents, the flow of classes, and the adverse effects of digital learning materials. Next, it is effective to utilize digital learning materials in the lecture for provoking curiosity and enjoyment, maintaining interest and effort, and reviewing what students learned.

Keywords : Digital learning materials, Brain based learning, Education-neurology, multiple sensory neuron, mirror neuron, Emotion

본 연구는 2020년도 서울교육대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었음.

교신저자 : 김미현(서울교육대학교 교육심리학과)

논문투고 : 2020-09-17

논문심사 : 2020-10-05

심사완료 : 2020-10-14

1. 서론

급속히 변모하는 교육 환경으로 인해 새로운 매체에 대한 교육계의 관심이 높아졌다. 이와 관련해 동영상, 디지털 교과서, VR 기기 등 디지털 학습자료를 활용한 교수-학습 과정 개발이 활발히 이뤄지고 있다 [1][25][45]. 그러나 디지털 학습자료를 접하는 학습자의 사고 과정이나 디지털 학습자료의 교육적 원리 등을 과학적으로 밝힌 연구는 미비한 실정이다[54]. 특히 디지털 학습자료가 학습자의 뇌에서 어떤 방식으로 작용하는가를 규명한 연구는 매우 드물다.

이러한 상황은 현장에서 디지털 학습자료를 이해하고 교육적으로 활용함에 있어 한계점으로 작용할 수 있다. 디지털 학습자료에 대한 근본적 이해 없이 활용 기법 및 프로그램 개발 등에만 치중한다면 디지털 학습의 원리를 발전시키고 교육적 활용의 지평을 넓히는 데 어려움을 겪게 될 것이다. 더불어 디지털 학습자료의 과학적 원리에 대한 이해가 없다면, 디지털 학습자료 활용의 역기능적 측면으로 인해 발생한 문제에 대해 피상적인 해결 방안을 도출하는 수준에 그치게 될 것이다.

뇌과학 연구를 활용한 해석은 디지털 학습자료에 대한 과학적 이해와 교육적 실천 과정에 유의미하게 작용할 것으로 기대된다. 뇌와 관련된 연구는 의학 분야에서 주로 논의되었지만 측정 도구가 발달하고 연구 결과가 축적됨에 따라 사회, 경제 등 다양한 분야와 접목되는 추세이다[12]. 학습과 사고는 뇌에서 일어나는 현상이므로 뇌과학적 연구 결과를 교육 현상과 접목하는 것은 교육 현상에 대한 심도 있는 이해를 가능하게 한다[19].

최근 들어 뇌과학적 지식과 교육학을 연결짓는 다수의 연구 분야를 포괄하는 용어로 뇌기반 교육 또는 교육신경학이 대두되고 있다. 그 중에서 교육신경학이란 다양한 교육 현상을 신경과학의 연구 결과를 활용해 해석하고 적용하는 분야이다[12]. 대부분 신경과학 연구는 전문가가 아니면 해석하기 힘든 용어나 서술 방식으로 구성되어 있다. 이 때문에 교육학과 신경과학의 접점을 일반인들에게 접근 가능한 영역으로 제시하는 교육신경학의 역할이 매우 중요하다. 디지털 학습자료에 대한 교육신경학적 해석은 교육학과 교육신경학의 선행연구 분석을 기반으로 연구자의 독창적 해석을 통해 디지털 학습자료 활용의 과학적 토대를 마련할 것으로 기대된다.

이 연구는 교육신경학을 기반으로 디지털 학습자료 활용의 과학적 근거를 마련하고 교육적 함의를 도출하는 것을 목적으로 한다. 문헌연구를 통해 교육학, 신경과학의 선행연구를 종합하고 교육신경학적 관점에서 디지털 학습자료 활용의 과학적 근거를 탐구하고자 한다. 이러한 교육신경학적 이해를 바탕으로 교육적 시사점을 도출하여 과학적 원리에 기반한 디지털 학습자료의 구체적 활용 방안을 제공하고자 한다. 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 디지털 학습자료의 교육적 특성은 교육신경학적으로 어떻게 설명되는가?

둘째, 디지털 학습자료에 대한 교육신경학적 이해가 제공하는 교육적 시사점은 무엇인가?

2. 이론적 배경

본 절에서는 디지털 학습자료의 정의와 특성에 대한 선행연구를 종합하여 이후 논의에 대한 이해를 높이고자 한다. 더불어 교육신경학의 정의를 제시함으로써 교육과 뇌과학을 접목하는 이 분야에 대해 자세히 알아보겠다.

2.1. 디지털 학습자료의 정의와 특성

디지털은 자료를 유한한 자릿수의 숫자로 나타내는 방식이며, 대부분 컴퓨터 등의 기기를 통해 구현된다 [60]. 학습자료라는 개념은 학자에 따라 다양하게 정의되지만, 공통적으로 학습에 도움을 주는 수단이라는 점이 강조된다[2][18][38]. 일부 학자의 경우 디지털 학습자료를 30분이 넘지 않는 현실성 있는 자료로 정의하지만[35], 매체의 범주가 더욱 확대됨에 따라 학교 현장에서 활용 가능한 디지털 학습자료를 보다 넓게 바라볼 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 디지털 학습자료를 ‘수업 과정에서 학습자가 학습 목표에 도달하도록 전자 기기를 통해 제시되는 자료’로 정의하고자 한다. 즉, 디지털 학습자료란 학습 과정에서 학습자에게 도움을 주는 디지털 형태의 자료를 의미한다.

디지털 매체에 대한 뇌과학적 이해는 사회, 경제, 의료 등 다양한 분야에서 활발히 적용되고 있다[30][37]. 뇌과학 분야의 선행연구에서 밝혀진 디지털 학습자료의

특성은 다음과 같다. 첫째, 디지털 학습자료는 인쇄 매체에 비해 구체적이고 현장감이 있다. 디지털 학습자료는 생생한 감각 자극을 제공하기 때문에 뇌의 여러 감각 중추에서 높은 활성을 유발한다[28]. 둘째, 디지털 학습자료는 많은 정보를 경제적으로 전달할 수 있다. 디지털 환경의 전자매체는 구조화, 일반화, 정교화 등을 통해 축약된 형태로 정보를 제공하여 학습자의 효과적인 정보 처리를 가능하게 한다[26]. 셋째, 디지털 학습자료로 인한 시각적, 청각적, 인지적 자극은 도파민 활성을 통해 동기, 집중, 보상, 기억 등 인간의 복합적인 감정과 연결된다[30]. 넷째, 디지털 학습자료는 기술의 발전으로 상호작용이 가능한 매체로 거듭나고 있다. 소셜미디어, 가상 현실 등을 접목한 스마트 러닝은 학습자가 디지털 매체를 단순히 시청하는 것에 그치지 않고 참여와 소통을 통해 학습할 수 있도록 한다[29]. 그러나 디지털 매체는 강한 중독성으로 인해 청소년의 육체적, 심리적 역기능을 유발하기도 한다. 피로감, 시력 저하 등의 신체적 증상 뿐 만 아니라 일상생활을 하여도 동영상, 인터넷 사용에 대한 욕구가 계속되는 심리적 증상을 나타내기도 한다[48][52].

2.2. 교육신경학의 정의

교육 현상에 대한 뇌과학적 이해는 교육 이론과 실천을 연결 짓고 궁극적으로 교육의 질을 증진시키는 과정으로 주목받아왔다. 다수의 선행연구에서 교육 현상에 대한 뇌과학적 이해를 뇌기반교육, 뇌기반학습, 인지신경과학, 뇌과학, 인지과학 등의 명칭으로 표기해왔다. 최근에는 이들 용어를 고려하면서 교육학과 신경과학을 접목하는 분야로써 교육신경학이라는 분야가 대두되고 있는바, 본 연구에서는 이 용어를 채택하여 논의를 전개하고자 한다. 이 개념을 다시 한 번 설명하면 다음과 같다.

교육신경학이란 학습 과정의 다양한 현상을 신경과학 연구결과를 통해 해석하고 적용하는 분야이다[7][19]. 이는 기존의 뇌과학적 이해에서 한 걸음 나아가 학습, 교수, 이론을 모두 포괄하는 개념이다. 대중매체를 통해 학습과 관련된 다양한 신경과학 지식이 소개되고 있지만 대부분 신경과학 분야의 연구 결과는 전문가가 아니면 해석에 어려움이 있기 때문에 이목 끌기에 지나지

않는 경우가 많다. 따라서 교육전문가 및 교육 분야에 관심이 있는 일반인에게 접근 가능한 방식의 논의가 필요하다. 교육신경학 기반의 해석 및 활용 방안의 제시는 위와 같은 어려움을 해결하려는 노력의 일환이다. 본 연구는 이러한 관점에서 교육신경학적 논의를 제시하고 있는 연구 중 하나이다.

3. 연구방법

본 연구는 통합적 문헌연구를 기반으로 교육신경학의 성격에 맞게 재해석한 강문선[19]의 연구방법을 활용하였다. Torracco[53]의 통합적 문헌연구 방법은 다양한 분야와 방대한 양의 연구들을 체계적이고 과학적으로 통합하기 위해 주로 사용되며 개념의 틀을 형성하기에 적합하다. 그러나 교육신경학에서 다루지는 교육학 분야와 신경과학의 분야의 개념들은 유사해 보일지라도 각 학문에서 사용되는 개념의 범위나 위계, 관계가 다를 수 있기 때문에 개념에 대한 연구자의 해석 과정이 필요하[19].

본 연구는 네 가지 단계에 따라 진행되었다. 첫째, 연구 주제 설정 과정에서 디지털 학습자료와 관련된 선행연구의 분석 준거를 설정하고 교육학적 가치와 선행연구를 검토하였다. 둘째, 신경학적 연구자료 수집 과정에서 학습과 관련된 신경과학 연구를 탐색하고 디지털 학습자료와 관련된 교육 현상의 과학적 근거로 활용할 수 있는 신경과학적 지식을 정리하였다. 통합적 문헌연구에서 강조하는 우수한 논문을 선별하기 위해 국내 연구의 경우 박사 학위 이상논문, 학술등재지 게재 논문을 선정하였고, 국외 연구의 경우 교육 분야의 학술 종합 데이터베이스인 ERIC, EPSCO를 활용해 검색하였다. 셋째, 교육신경학적 해석 과정에서 수집한 자료를 종합하여 다양한 관점의 해석을 통해 연구결과를 도출하였다. 이 과정에서 교육학 박사 2인의 검토를 통해 객관성 및 타당성을 확보하였다. 넷째, 교육적 시사점 제시 과정에서 교육신경학적 이해에 대한 교육적 의미를 탐색하고 교수학습 장면에서의 적용을 모색하였다.

신경과학에서는 실험과 측정이 주된 연구방법이지만 교육신경학에서는 현상에 대한 이해와 해석이 더 중요한 부분으로 여겨진다. 신경계에 대한 단편적 발견을 통해 복잡한 인간의 학습 과정을 설명하기 위해서는 연구

자의 종합적 이해와 해석과정이 반드시 필요하기 때문이다. 역동적인 교육 현상을 해석하기 위해 연구자는 관련된 신경과학 연구를 철저히 이해해야 하며 다양한 각도에서 신경과학 지식과 현상을 접목할 수 있어야 한다. 이 과정에서 연구자는 독창적인 해석의 틀을 활용하여 과학적 근거에 기초한 결과를 도출해야 한다.

4. 디지털 학습자료의 교육적 특성에 대한 교육신경학적 이해

디지털 학습자료를 교육신경학적으로 해석하기 위하여 매체로써의 이해를 넘어 학습자 중심의 교육적 특성에 기반한 접근이 필요하다. 이 연구에서 주목한 디지털 학습자료의 교육적 특성은 다양한 감각, 간접경험, 흥미이다. 본 절에서는 각각의 교육적 특성에 대한 교육신경학적 이해를 통해 디지털 학습자료와 학습 과정 사이의 과학적 원리를 밝히고자 한다.

4.1. 다양한 감각과 학습 과정의 뇌

디지털 학습자료는 학습자의 다양한 감각을 복합적으로 자극한다. 디지털 학습자료는 영상, 음향, 냄새, 진동 등 다양한 형태의 콘텐츠를 포함하기 때문에 학습자의 오감을 효과적으로 자극할 수 있다[1]. 2000년대 초반까지 디지털 매체는 시·청각 자료로 인식되었지만 4D, VR, AR 등의 혁신적인 기술 발전에 따라 감각의 범위가 빠르게 확장되고 있다.

다양한 감각 자극이 학습 과정에 미치는 영향을 파악하기 위해 정보처리과정에 대한 이해가 선행되어야 한다. 정보처리이론에서는 학습을 부호화된 표상의 장기 기억화라고 정의한다[41]. 감각 자극을 통해 얻은 정보는 일련의 과정을 거쳐 장기기억으로 전환된다[34]. 먼저, 이미지와 문자로 부호화된 정보는 회화적, 언어적 모형으로 작업 기억에 저장된다. 그 뒤, 일시적으로 작업 기억에 저장된 정보는 선행지식과 통합되며 장기기억으로 전환되거나 쇠퇴된다.

다양한 감각 자극은 부호화된 표상의 처리 과정에서 경로의 수를 증가시킨다. 하나의 현상에 대한 서로 다른 종류의 감각 자극은 정보 간 다양한 교대작용을 일으켜 유기적인 의미형성을 촉진한다[49]. 그 예로, 시각 자극

만 유입된 경우, 학습자는 시각 자극이라는 하나의 경로를 통해서 표상을 형성한다. 반면, 시각 자극과 청각 자극이 함께 제시된 경우, 학습자는 다음과 같은 세 가지 경로로 표상을 형성하게 된다. 첫 번째 경로는 시각 자극과 청각 자극을 통한 각각의 정보의 유입이다. 두 번째 경로는 시각 자극과 청각 자극이 교대작용을 일으켜 형성된 정보의 유입이다. 세 번째 경로는 시각과 청각 자극이 교대작용을 일으키며 형성된 새로운 정보와 기존 시각 자극, 청각 자극 간의 교대작용에 의한 정보이다. 따라서 다양한 감각이 함께 자극되는 경우에는 단일 감각만 자극되는 경우에 비해 효과적인 정보처리가 가능하다.

정보처리과정에서 발생하는 감각 정보 간 교대작용은 장기기억의 형성과 밀접한 연관을 지닌다. 장기기억은 뇌의 변연계 중 일부인 해마의 기능에 의해 형성된다[7]. 감각 기관을 통해 수집된 정보는 해마를 거치며 필요한 내용만 선별되어 장기기억으로 전환된다. 장기기억의 형성과 관련된 해마의 역할을 LTP(Long-Term Potentiation)현상이라 한다. 해마는 특정 시냅스 연결이 지속될 때 신경세포 간 높은 효율의 신호전달을 가능하게 한다[11]. 특히 LTP현상은 한 개의 시냅스를 반복적으로 자극하는 것보다 여러 경로의 시냅스를 동시에 자극할 때 효과적으로 나타난다. 디지털 학습자료를 통해 제공되는 다양한 감각 자극은 단일한 감각 자극에 비해 여러 경로의 시냅스를 활성화시킨다. 따라서 디지털 학습자료를 접한 학습자의 뇌에서는 LTP현상이 촉진되어 효과적으로 장기 기억을 형성하게 된다.

다양한 감각 자극의 처리에 관여하는 뇌 부위는 해마 외에도 여러 곳이 있다. 먼저, 다중감각 자극에 특수하게 반응하는 신경세포인 다중감각신경(multisensory neuron)이 있다. 다른 종류의 감각 자극은 뇌의 각각 다른 부위를 활성화한다고 이해하기 쉽지만, 단일감각 자극을 처리하는 대뇌 피질의 경계부에 다중감각 자극에 의해 강화되거나 억제되는 신경세포가 있음이 밝혀졌다[14][56]. 다음으로, 중뇌 상구(superior colliculus) 심층부는 시각, 청각, 촉각 등의 다양한 정보를 통합적으로 받아들이고 처리한다[51]. 동물 실험의 결과, 고양이, 랩스터, 원숭이 등의 상구에도 다중감각을 처리하는 부위가 있는 것으로 나타났다[50][57].

다양한 감각 자극이 효과적인 정보처리와 연결되는

것은 여러 선행연구를 통해 밝혀졌지만 무분별한 감각 자극의 홍수는 오히려 학습에 방해가 될 수 있다. 감각 정보 간 교대작용에서 각 자극이 서로 높은 연관성을 지닐수록 학습 효과가 높아지는 것으로 나타났다[24]. 즉, 다양한 감각 자극이 서로 유기적인 관계를 지닐수록 효과적인 정보처리가 가능해진다.

4.2. 간접경험과 학습 과정의 뇌

디지털 학습자료는 교실의 시·공간적 제약을 극복하는 간접경험을 제공한다. 교실에서 학생들이 생활하는 시간과 공간은 다양한 경험을 하기엔 다소 제한적이다. 디지털 학습자료는 현장성, 주제의 다양성, 구체성 등을 지니기 때문에 실제로 관찰하기 어려운 현상이나 특정 대상을 자세히 관찰할 수 있어 실감 나는 수업을 가능케 한다[47].

뇌의 발달은 풍부한 경험에 노출되는 것과 밀접하게 연관된다. 쥐를 대상으로 한 실험 결과, 풍부한 환경에서 자란 쥐는 결핍된 환경에서 자란 쥐보다 더 두꺼운 대뇌 피질을 가지는 것으로 나타났다[15]. 마찬가지로 인간도 풍부한 학습 환경에 노출된 학습자는 기존 시냅스 연결이 강화되고 새로운 시냅스 간 연결이 촉진된다[33]. 풍부한 경험은 성공적인 학습의 중요한 요소이지만 학습자가 모든 것을 직접 경험을 통해 배울 수는 없다. 교실에는 다양한 시간적, 공간적 제약이 존재하기 때문이다. 이러한 이유로 인해 학교 현장의 교사들은 학생들이 간접적으로 현상과 대상을 경험할 수 있도록 디지털 학습자료 등의 수단을 보완적으로 활용한다.

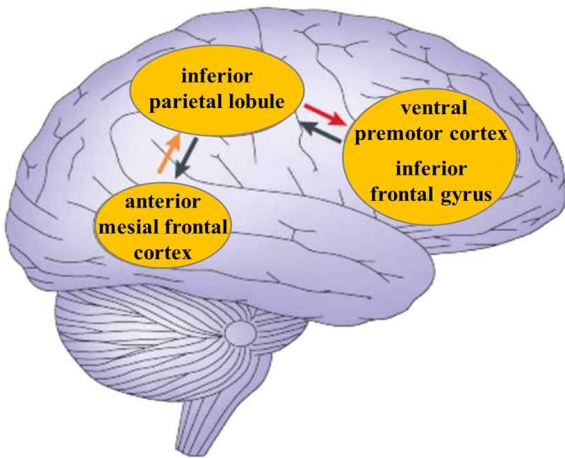
간접경험을 통한 학습은 오랜 시간동안 교육 현장에서 유용하게 사용되었다. 그러나 실제로 행동하지 않고 보고 듣는 것만으로도 충분한 학습이 가능한가에 대한 논의는 끊임없이 이어져 왔다. 거울신경(mirror neuron)의 발견은 이 논의에 대한 실마리를 제공하였다. 원숭이의 동작에 따른 신경 활성화 연구 결과, 원숭이의 뇌에 거울신경이 있음이 밝혀졌다[3]. 원숭이가 땅콩을 손으로 직접 잡을 때와 사람이 땅콩을 손으로 잡는 모습을 볼 때, 원숭이의 뇌에서는 유사한 양상의 신경세포가 활성화되었다[43]. 원숭이가 단순히 땅콩을 보거나 사람이 다른 물건을 잡는 것을 관찰할 때는 동일한 신경세포의 활성이 일어나지 않았다. 즉, 원숭이의 뇌는 직접 행동할

때와 인간의 행동을 관찰할 때를 비슷하게 인식하였다.

원숭이에게서 발견된 거울신경은 인간의 뇌에서 더욱 강력하게 작용한다. 후속 연구에서 인간도 원숭이와 같이 거울신경이 존재함이 밝혀졌다. 피실험자의 뇌를 fMRI로 측정된 결과, 피실험자가 캔 따기, 컵에 물 붓기, 종이 찢기, 지퍼 열기 등의 행동을 할 때와 각 행동의 소리를 들을 때 비슷한 양상의 뇌 활동이 확인되었다[3][42]. 다시 말해, 특정 행동을 할 때 작용하는 신경 회로는 그 행동을 간접적으로 접할 때도 마찬가지로 작용한다.

거울신경의 위치로 처음 주목받은 곳은 복측전운동피질(ventral premotor cortex)이다[42]. 추후에 (Fig. 1)과 같이 하두정소엽(inferior parietal lobule)과 전운동피질의 하전두회(inferior frontal gyrus), 섬엽(insula), 전내측전두피질(anterior mesial frontal cortex) 등이 거울신경계(mirror neuron system)에 관여하는 것으로 밝혀졌다[3][44]. 즉, 거울신경계의 활성화는 변연계와 대뇌 피질의 여러 부위가 복합적으로 작용한 결과이다. 거울신경계에 관여하는 뇌의 여러 부위들은 일련의 단계에 따라 상호작용한다[13]. 먼저, 다른 생명체의 행동을 관찰하며 감각 기관으로 정보를 수집한다. 수집된 정보는 감각피질과 연결된 측두엽의 상측두구(superior temporal sulcus)에 도달해 해석과정을 거친다. 이 과정에서 거울신경계는 생명체의 의도, 감정이 포함된 정보만 선별적으로 구별한다[55]. 선별된 정보는 신경섬유를 통해 하두정소엽과 전내측전두피질 등의 거울신경계를 거쳐 운동영역으로 전달된다. 쉽게 말해, 거울신경계는 시각중추에서 얻은 정보를 뇌의 운동영역에 선별적으로 전달하여 보는 것과 실제 행동하는 것을 유사하게 느끼게 만드는 체계이다.

교육신경학적으로 거울신경계를 이해하는 것은 간접경험이 효과적인 학습법이 될 수 있는가에 대한 해답을 제공한다. 학습자는 거울신경계의 작용으로 인해 행동과 의도 이해하기, 모방하기, 공감하기와 같은 행위를 할 수 있다[42]. 타인의 모습을 거울에 비친 자신으로 여기는 현상은 직접 행동하는 것과 그 행동을 한다고 느끼는 것 사이의 간극을 좁혀준다. 거울신경계는 다른 생명체의 행동을 이해하기 위해 최적화된 신경학적 체계이며 디지털 학습자료를 통한 간접경험을 가능하게 한다.



(Fig. 1) Brain involved in the mirror neuron system

그러나 모든 자극에 대해 거울신경계가 반응하는 것은 아니다. 다음과 같은 조건에서 거울신경계는 활성화된다. 첫째, 거울신경계는 기계나 사물의 움직임에는 반응하지 않고 사람, 동물과 같은 생명체의 행동에만 반응한다[55]. 즉, 생명체의 의도가 담긴 움직임을 보다 주의 깊게 인식한다. 둘째, 구체적인 간접경험일수록 거울신경계는 활발하게 반응한다. 2D와 3D 동영상을 두 집단에 각각 제시한 결과, 3D 영상을 시청한 집단의 거울신경계가 더 활성화되었다[22]. 셋째, 시각적으로 불완전하더라도 추론을 통해 행동의 목적을 알 수 있을 때 거울신경계는 완전한 행동을 관찰한 것과 유사하게 반응한다[55].

4.3. 흥미, 자신감과 학습 과정의 뇌

2000년대 이후 태어난 초등학생들은 디지털 네이티브를 넘어 정보습득, 의사소통, 감정표출 등의 다양한 목적으로 디지털 매체를 사용하는 세대이다. 디지털 매체를 능숙하게 사용하는 초등학생의 비율은 매년 급증하고 있으며 대부분 학습자는 디지털 학습자료를 사용하는 수업에 대해 흥미, 호기심, 자신감 등의 정서를 느끼는 것으로 나타났다[20][40]. 이러한 학습에 대한 흥미와 자신감은 학습 과정에 큰 영향을 미치게 된다[17].

인간의 사고 과정에서 감정은 이성과 같이 결정적인 영향력을 가진다. 의사결정 과정은 본능적인 감정에 의

해 무의식적으로 지배받는다[4]. 특히 학습 과정에서 감정은 더욱 다양한 의미를 지닌다. 먼저 학습자의 행동에 대한 안내자 역할을 한다[58]. 학습자는 학습 과정에서 좌절, 성취감 등의 다양한 감정을 경험하는데, 이러한 감정은 학습자의 후속 반응을 결정한다. 다음으로 감정은 정보처리과정을 촉진하는 역할을 한다[10]. 긍정적인 감정은 직관적, 창의적 사고를 촉진하는 반면, 부정적인 감정은 절차적 사고를 강화하고 부정적인 요소에 집중하게 한다. 마지막으로 감정은 인지, 동기, 행동을 매개한다[23]. 감정은 학습자의 인지, 동기, 행동에 직접적인 영향을 주기도 하지만, 매개효과를 통해 세 요인에 간접적으로 영향을 미치기도 한다.

디지털 학습자료에서 기인한 흥미와 자신감은 다음과 같은 4가지 측면에서 성공적인 학습으로 연결된다. 첫째, 흥미와 자신감을 경험하는 학습자의 뇌에서는 신경전달물질인 도파민의 분비가 촉진된다[16]. 도파민은 기쁨, 쾌락에 관여하는 신경전달물질이다. 이 호르몬이 적당히 분비되면 원활하고 효과적인 정보전달이 가능해진다[17]. 둘째, 학습자가 흥미와 자신감을 느낄 때 뇌에서는 망상활성체계(reticular activating system)가 활발히 반응한다. 망상활성체계는 생명 유지의 중추인 뇌간(brainstem)에 위치한다. 다수의 신경이 밀집해있는 이 부위는 학습자의 능동적 주의 집중 유발에 관여한다[6]. 학습자가 흥미와 자신감을 느끼면 망상활성체계를 통해 능동적 주의 집중이 촉진된다[36]. 이와 반대로, 학습자가 과하게 흥분하거나 위축되면 집중력이 저하되고 정보처리과정의 효율이 떨어진다[6]. 셋째, 학습자가 흥미와 자신감을 느끼면 뇌의 전두선조체 회로(frontal-striatal circuit)가 활발히 자극된다. 전두선조체 회로는 내측전전두피질(medial prefrontal cortex)과 복측선조체(ventral striatum) 사이를 연결하는 회로이다. 내측전전두피질과 복측선조체는 각각 자기이해, 내재적 동기와 관련된 기체이다. 활성화된 전두선조체 회로는 자기이해의 결과를 내재적 동기와 효과적으로 연결시킨다[5]. 이는 학습자의 내재적 동기를 자극하여 성공적인 학습을 유도한다. 마지막으로, 흥미와 자신감은 학습자의 정서적 여과(affective filter)를 낮추고 학습에 기여한다. 학습에 대한 낮은 정서적 여과는 학습자의 스트레스를 완화시키며, 이는 뇌의 정보처리능력에 직접적인 영향을 미친다. 강한 스트레스에 노출된 뇌는 고차원적 사

고를 담당하는 대뇌 피질의 기능이 저하되고 본능에 우선적으로 반응하는 뇌간이 활성화된다[8].

5. 교육적 시사점

지금까지 논의를 통해 디지털 학습자료 활용의 과학적 근거를 교육신경학의 관점에서 심층적으로 분석하였다. 디지털 학습자료는 유용한 학습자료이지만 모든 학습을 성공적으로 이끄는 마법의 도구는 아니다. 학습자료는 학습을 도와주는 보조재 일뿐이며 디지털 학습자료도 학습자료의 하나라는 것을 간과해서는 안 된다. ‘구슬이 서 말이어도 꿰어야 보배’라는 속담처럼 훌륭한 자료를 적절히 활용하기 위해서는 다양한 노력이 필요하다.

디지털 학습자료의 효과적인 활용을 위해 고려해야 할 네 가지 요소는 다음과 같다. 첫째, 디지털 학습자료는 학습 내용을 효과적으로 전달할 수 있는 표현 양식을 갖춰야 한다. 다양한 감각 자극이 포함된 자료일지라도 감각 자극 간 연관성이 떨어지면 다중감각신경을 거치며 정보의 처리경로가 다원화되지 않고 해마의 LTP 현상이 지체된다. 이는 정보처리과정 및 장기기억화의 효율을 낮추고 학습자에게 혼란을 줄 수 있다. 따라서 소리, 그림, 자막 등 디지털 학습자료의 표현 양식이 조화를 이룰 때 학습자에게 유의미한 자료가 될 수 있다.

둘째, 교사는 학습 내용을 고려하여 디지털 학습자료를 선정해야 한다. 디지털 학습자료는 다른 매체에 비하여 대체로 구체성을 띠지만 모든 디지털 학습자료가 인간의 거울신경계를 자극하는 것은 아니다. 디지털 학습자료의 시청을 통해 거울신경계가 활성화되려면 생물체의 의도, 감정 등이 포함된 학습 내용이 적절하다. 거울신경계는 사람이나 동물이 아닌 대상의 움직임에는 비활성화되며 생생한 관찰일수록 더 민감하게 반응하는 경향이 있다. 예를 들어, 영어 교과에서 여러 인물이 등장하여 대화를 주고받는 장면을 시청하면 학생들은 본인이 그 상황에 처해있는 것처럼 느끼며 학습 내용을 받아들이게 된다[35].

셋째, 디지털 학습자료는 수업의 흐름을 고려해 적절한 시기에 제시되어야 한다. 학습자의 감정은 외부 환경에 따라 쉽게 영향을 받으므로 자료를 투입하는 맥락에 대한 면밀한 설계가 필요하다. 디지털 학습자료는 흥미,

자신감 등의 감정을 통해 학습자의 인지, 행동, 동기와 연결된다. 적절한 시기에 투입된 자료는 학습자의 도파민 분비를 촉진하고 정서적 여파를 낮추어 효과적인 정보처리를 가능하게 한다. 또한 전두선조체회로와 망상활성체계를 자극하여 학습동기 및 능동적 주의집중을 가능하게 한다. 예를 들어, 학습자가 지루함을 느끼는 상황에서 디지털 학습자료를 제시하면 분위기를 환기시키고 수업 참여도를 높일 수 있다. 이와 달리 산만한 분위기에서 디지털 학습자료를 제시하면 학습자는 학습 내용보다 부수적인 요소에 집중하게 되어 학습의 효율이 저하될 수 있다. 따라서 교사는 디지털 학습자료의 투입으로 인해 영향받을 학습자의 상태를 예측하고 유연한 태도로 수업을 이끌어내야 한다.

넷째, 교사는 디지털 학습자료의 역기능적 측면을 이해하고 비판적 안목으로 수업을 설계해야 한다. 최근 들어, 디지털 매체 중독으로 인한 미성년자의 신체적, 정신적 질환이 다수 보고되며, 디지털 매체의 오, 남용이 사회적 이슈로 주목받고 있다[48][52]. 디지털 매체에 중독된 학습자는 디지털 학습자료에 대해 과민한 반응을 보일 수 있으며, 도파민 과다 분비 등으로 비효율적인 정보처리과정을 거치게 되어 학습 효과가 저하될 수 있다. 또는 자극적인 영상물에 익숙한 학습자는 교육 목적의 디지털 학습자료에 대해 무감한 반응을 보이며 수동적 학습자로 전락할 수 있다. 따라서 교사는 학습자의 특성을 파악하여 학습 목표 도달 과정에 디지털 학습자료를 효과적으로 적용하기 위해 노력해야 한다.

앞서 논의한 내용을 바탕으로 성공적인 수업을 위한 디지털 학습자료의 구체적인 활용 방안은 다음과 같다. 먼저, 수업의 전반부에 흥미와 호기심을 자극하는 디지털 학습자료를 활용하여 학습에 대한 동기를 유발할 수 있다. 디지털 학습자료에서 기인한 기대, 호기심, 즐거움 등의 감정은 학습 내용에 대한 긍정적인 첫인상으로 연결된다. 이는 정보처리과정, 학습 동기 형성, 능동적 주의집중에 긍정적 영향을 미쳐 효과적인 학습을 유도한다. 디지털 학습자료를 동기 유발 자료로 활용한 선행연구에 의하면, 수학 교과에서 영화를 재구성한 영상을 시청한 집단은 그렇지 않은 집단에 비해 학업 성취도, 교과에 대한 태도, 교과에 대한 자아개념이 개선되었다[27]. 일부 교사는 학습자의 주의력 분산 등을 우려하여 디지털 요소가 없는 동기유발 과정을 선호하기도 하는

데, 학습자의 긍정적인 감정을 촉진한다는 측면에서 디지털 학습자료를 통한 동기 유발은 바람직하다.

다음으로, 수업의 중반부에 제시된 디지털 학습자료는 학습자의 어려움을 해소하며 수업에 대한 흥미 유지와 몰입을 가능하게 한다. 동기유발을 통해 발생한 흥미와 호기심이 즉흥적인 것에 그치지 않기 위해서는 학습자가 스스로 노력을 유지할 이유가 필요하다. 많은 학습자는 유능감을 느낄 때 흥미와 노력을 유지하는 것으로 나타났다[32]. 학습 과정에서 유능감을 경험하려면 반복적인 구체화, 특수화를 통해 시냅스 연결을 풍부하게 만들어야 한다[9]. 즉, 기존 지식에 새로운 학습 내용을 덧붙여가며 연결된 신경망을 만들 때, 학습자는 흥미를 잃지 않고 유능감을 느끼게 된다. 디지털 학습자료는 구체적이고 실감나기 때문에 지식의 구체화 및 특수화를 위한 자료로 유용하게 활용될 수 있다. 학습자는 교과서나 언어적 설명만으로 이해하기 힘들었던 내용을 디지털 학습자료를 통해 사전 지식과 쉽게 연결할 수 있다. 선행연구 결과, 언어적 설명과 시청각자료를 함께 제시한 집단은 언어적 설명만 제시한 집단에 비해 더 뛰어난 이해도를 보였다[1][45]. 따라서 교사는 수업의 중반부에서 학습자의 이해 증진 및 흥미 유지를 위해 다채로운 디지털 학습자료를 활용할 수 있다.

마지막으로, 수업의 후반부에 학습 내용을 복습하는 디지털 학습자료를 사용하면 장기기억 형성을 촉진할 수 있다. 장기기억과 관련된 해마의 LTP현상을 활성화하기 위해 구조화된 정보를 제공하는 것이 중요하다. 단편적인 정보의 나열보다 정돈된 정보의 입력은 장기기억을 형성하는 것뿐만 아니라 인출하는 데에도 효과적이다[11]. 디지털 학습자료는 짧은 시간 동안 내용을 조직적으로 전달할 수 있기 때문에 LTP현상의 촉진에 적합하다. 2~3분 가량의 노래, 자막, 그림 등이 결합된 플래시송은 정리 활동에서 효과적으로 활용될 수 있다. 대표적으로 ‘역사를 빛낸 100인의 위인들’, ‘독도는 우리 땅’ 등의 플래시송 자료는 익숙한 멜로디와 집약적 가사를 활용해 학습자에게 구조화된 정보를 전달할 수 있다. 정리 활동에 많은 시간을 할애하기 힘든 교육 현장과 복습을 지루하게 느끼는 학습자의 특성과 을 고려할 때 디지털 학습자료는 짧은 시간 동안 재미있게 학습한 내용을 되새기는 자료로 활용하기에 적합하다.

6. 결론

이 연구는 뇌과학과 교육을 접목하는 교육신경학을 기반으로 디지털 학습자료 활용의 뇌과학적 근거를 확인함과 아울러 학교 현장에 적용 가능한 교육적 시사점을 제안한 연구이다. 통합적 문헌연구를 통해 신경과학 및 교육학의 선행연구를 종합하고 다양한 관점의 해석을 통해 디지털 학습자료 활용의 과학적 원리 및 시사점을 도출하였다.

디지털 학습자료의 교육신경학적 해석 결과는 다음과 같다. 첫째, 디지털 학습자료는 다양한 감각 자극과 밀접하게 관련된다. 정보처리과정에서 디지털 학습자료를 통해 입력된 자극은 다중감각신경, 상구의 심층부 등을 거치며 단일 감각 자극에 비해 효과적으로 처리된다. 또한 다양한 감각 자극은 협동적인 정보처리를 가능하게 하여 해마의 장기기억 형성을 촉진한다. 이 결과는 단일 감각을 자극하는 것보다 시각, 청각 등 여러 감각을 복합적으로 자극할 때 학습자의 학업 성취도가 높아진 선행연구 결과와 일치한다[24][46].

둘째, 디지털 학습자료를 접할 때 학습자의 뇌는 풍부한 간접경험과 연결된다. 변연계와 대뇌 피질의 여러 부위가 연합해 작용하는 거울신경계가 존재하기 때문에 인간은 간접경험 한 것을 직접 경험한 것과 유사하게 인식할 수 있다. 생명체의 의도, 감정 등 정보는 거울신경계를 통해 뇌의 운동영역까지 전달되어 자신이 직접 행동을 하는 것처럼 느끼게 한다. 선행 연구에서도 거울신경계에 대한 이해를 활용한 교육적 적용이 유의미한 학습과 연결되는 것으로 나타났다[21][39].

셋째, 디지털 학습자료를 활용한 학습에서 학습자의 뇌는 긍정적인 감정과 깊게 연관된다. 디지털 학습자료로 인해 학습자가 느끼는 감정은 여러 측면에서 학습자에게 긍정적인 영향을 미친다. 흥미와 자신감의 정서를 경험하는 학습자의 뇌는 정보 전달을 활성화하는 도파민의 분비가 촉진되고 주의집중을 향상시키는 망상활성체계의 기능이 활발해진다. 또한 내재적 동기 형성에 관여하는 전두선조체 회로가 자극되고 스트레스가 완화되어 대뇌 피질의 기능이 향상된다. 이 결과는 디지털 학습자료에 대한 학습자의 긍정적인 감정이 학업 성취도 및 태도에 유의미한 영향을 미친 선행연구와도 일치한다[31][59].

디지털 학습자료에 대한 교육신경학적 논의를 바탕으로 학교 현장에 제안한 교육적 시사점은 다음과 같다. 먼저 교사는 디지털 학습자료를 선정할 때 표현 양식, 학습 내용, 수업의 흐름, 역기능적 측면을 고려해야 한다. 소리, 자막, 그림 등 감각 자극 간의 연관성이 높고, 생명체의 의도, 목적, 감정 등이 포함된 디지털 학습자료일수록 효과적이다. 또한 학습자의 유동적인 감정을 고려해 자료를 투입하는 시점에 대한 면밀한 설계가 필요하며, 디지털 학습자료의 역기능적 측면을 이해하고 접근해야 한다. 다음으로 교사는 디지털 학습자료를 활용할 때 수업의 장면에 따라 다양한 목적으로 자료를 사용할 수 있다. 수업의 전반부에서 호기심과 즐거움의 유발, 중반부에서 흥미와 노력의 유지, 후반부에서 학습 내용에 대한 복습을 위해 디지털 학습자료를 활용하는 것은 바람직하다.

참고문헌

- [1] Baek, W. S., & Kim, M. J.(2015). The Effects of Utilizing Video Clips on Young Children's Scientific Interests and Scientific Concepts. *Journal of Children's Media & Education*, 14(4), 1-24.
- [2] Baek, Y. K.(2010). Educational Methods and Technology, Hakjisa.
- [3] Banich, M. T.(2008). Cognitive neuroscience and neuropsychology(2nd. Ed). A translated version of Kim, M. S., Kang, E. J., Kang, Y. W., & Kim, H. T.(2009). *Cognitive neuroscience and neuropsychology*, Sigmampress.
- [4] Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W.(1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1), 7-15.
- [5] Chavez, R. S., & Heatherton, T. F.(2014). Multimodal frontostriatal connectivity underlies individual differences in self-esteem. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(3), 364-370.
- [6] Cho, J. Y.(1996). Teacher's Attention-getting strategies Based on Cognitive Science Discoveries. *The Journal of Korea Elementary Education*, 8(2), 219-242.
- [7] Cho, J. Y.(1998). Educational Applications of Cognitive Sciences Discoveries about Learning/Memory. *The Journal of Elementary Education*, 12(2), 153-179.
- [8] Cho, J. Y.(2001). Principles and Methodology of the Brain-Based Creativity Education, *Journal of Student Guidance*, 27, 115-141.
- [9] Cho, J. Y., & Kang, M. S.(2014). Significance and Directions of the Instruction which Applied the Advanced Organizer: Based on the Brain Science Research. *The Journal of Elementary Education*, 27(2), 1-25.
- [10] Cho, J. Y., & Lee, B. S.(2001). The Human Brain Mechanism of Emotion and Directions of Emotion Education in the Elementary School. *The Journal of Elementary Education*, 14(3), 391-410.
- [11] Cho, J. Y., & Lee, E. J.(2012). Understanding of Long Term Potentiation (LTP) in Hippocampus and Educational Implications. *The Journal of Elementary Education*, 25(2),307-329.
- [12] Cho, J. Y., & Lee, E. J.(2019). A Study on the Possibility of Establishing Educational Neurology as Part of the Expansion of Educational Research Horizon. *The Journal of Elementary Education*, 32(1), 1-14.
- [13] Choi, H. S.(2011). All human emotion, Seoheamunjip.
- [14] Ghazanfar, A. A., & Schroeder, C. E.(2006). Is neocortex essentially multisensory?. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(6), 278-285.
- [15] Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Kuhl, P. K.(1999). *The scientist in the crib: Minds, brains, and how children learn*. William Morrow&Co.
- [16] Ishiura Shoichi(2009). 10 Lifestyles That Will Always Make You Old, A translated version of Park, J. H. Reset, Brain, Yeolemsa.
- [17] Jensen, E.(2005). Teaching with the Brain in Mind. A translated version of Kwon, H. K.(2011). *Brain-based teaching and learning*, Muemsa.
- [18] Joo, Y. J., Choi, S. H., & Kwon, C. J.(2001). *English Education and Multimedia*, Namdoodoseo.
- [19] Kang, M. S.(2019). *An interpretation of executive function based on the educational neurology*. Ph.D.

- dissertation, Seoul National University of Education.
- [20] Kim, A. M.(2018). An Exploratory Study on Children's YouTube Culture-Focusing on Children's Communication Culture. *The 6th Symposium on Korean Association for Children's Media & Education*, 179-195.
- [21] Kim, D. J.(2010). Brain science: Its implications for education and the school curriculum. *The Journal of Curriculum Studies*, 28(3), 127-145.
- [22] Kim, J. Y., & Han, K. J.(2014). Comparison of the Effect of 2D and 3D Action Observation on Arousal and Mirror Neuron Activity. *Journal of Korea Entertainment Industry Association*, 8(4), 109-116.
- [23] Kim, M. S.(2009). Emotion in Learning Context: Its Origins and Functions. *Asian journal of education*, 10(1), 73-98.
- [24] Kim, R. S., Seitz, A. R., & Shams, L.(2008). Benefits of stimulus congruency for multisensory facilitation of visual learning. *PLoS ONE*, 3(1), 1532.
- [25] Kim, S. H., & Park, S. W.(2010). Examining 3D Virtual Environments for Elementary English Language Classroom in South Korea. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 14(2), 357-377.
- [26] Kim, S. R.(2006). A Study on the Text Reduction based on Principles of Cognitive Structure in E-Learning Environment. *Brain Education*, 1, 99-127.
- [27] Kim, Y. K., & Oh, Y. R.(2014). Effects of Math Instruction Using Clip-Type Contents on Elementary Students' Mathematical Learning. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 18(2), 357-377.
- [28] Kwon, S. W., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J.(2018). Electroencephalographic Characteristics of Virtual Reality-based Life Science Content. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 18(9), 355-366.
- [29] Lee, B. K., & Doo, K. I.(2015). A Study on the Smart Learning Application Contents UI for Effective Learning. *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 21(3), 471-481.
- [30] Lee, J. E., & Yang, E. Y.(2018). A Study on Development of Disney Animation's Box-office Prediction AI Model Based on Brain Science. *Journal of Digital Convergence*, 16(9), 405-412.
- [31] Lee, S. M., & Song, K. S.(2007). The effects of affective feedbacks according to the learner's emotions in e-learning. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 10(4), 125-134.
- [32] Lim, H. J., & Yoon, Y. K.(2017). Grit and Preference for Challenging Task: Focusing on the Moderational Effect of Academic Competence on Interest and Effort. *The Korean Journal of Educational Methodology Studies*, 29(4), 657-675.
- [33] Markham, J. A., & Greenough, W. T.(2004). Experience-driven brain plasticity: Beyond the synapse. *Neuron Glia Biology*, 1(4), 351-364.
- [34] Mayer, R. E.(2009). Multimedia Learning(2nd ed.). A translated version of Kim, D. S., Kwon, S. J., Bang, S. H., & Jeong, H. J.(2012). *The Principles of Contents Design*, Academy Press.
- [35] McGovern, J., & Council, B.(1983). *Video applications in English language teaching*, Pergamon Press.
- [36] Moruzzi, G., & Magoun, H. W.(1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Neurophysiology*, 1(1), 455-473.
- [37] Noh, K. S., & Ju, S. H.(2012). A Preliminary Study on Promoting Policy for New IT Convergence Industry based on Brain Science. *Journal of Digital Convergence*, 10(5), 199-206.
- [38] Noh, S. J.(2010). Teaching and Learning Strategy. *The 6th Symposium on Academic Society of Nursing Education*, 133-156.
- [39] Park, H. B.(2011). Mirror neuron and Moral Education. *Journal of Ethics*, 81(1), 263-289.
- [40] Park, S. K., & Lee, E. Y.(2015). The Effect of Elementary Students' Usage of Smartphone, Computer and TV on Academic Attitude. *The Korean Society Fishes And Sciences Education*,

- 272), 576-588.
- [41] Reed, S. K.(2010). *Cognition :theories and applications* (9th ed.). A translated version of Park, K. S.(2014), *Cognition :theories and applications*, Sengaging Learning Korea.
- [42] Rizzolatti, G., & Craighero, L.(2004). The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27(3), 169-192.
- [43] Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L.(1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.
- [44] Rizzolatti, G., & Fabbri-Destro, M.(2010). Mirror neurons: From discovery to autism. *Experimental Brain Research*, 200(3), 223-237.
- [45] Schultz, P. L., & Quinn, A. S.(2014). Lights, camera, action! Learning about management with student-produced video assignments. *Journal of Management Education*, 38(2), 234-258.
- [46] Seitz, A. R. Kim, R., & Shams, L.(2006). Sound facilitates visual learning. *Current Biology*, 16(4) 1422-1427.
- [47] Senger, P. L., Oki, A. C., Trevisan, M. S., & Mclean, D. J.(2012). Exploiting Multimedia in Reproductive Science Education: Research Findings. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(4), 38-45.
- [48] Seomun, G. A., Kim, E. Y., & Noh, W. J.(2012). A Review of Studies on the Health-adverse effects in using Digital Textbooks. *Journal of Digital Convergence*, 10, 165-175.
- [49] Shams, L., & Seitz, A. R.(2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Science*, 12(11), 411-417.
- [50] Stein, B. E., & Meredith, M. A.(1986). Visual, auditory, and somatosensory convergence on cells in superior colliculus results in multisensory integration. *Journal of Neurophysiology*, 56(3), 640-662.
- [51] Stein, B. E., & Meredith, M. A.(1993). *The merging of the senses*, MIT Press.
- [52] Suhail, K., & Bargees, Z.(2006). Effects of excessive Internet use on undergraduate students in Pakistan. *Cyber psychology & behavior*, 19(3), 297- 307.
- [53] Torraco, R. J.(2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356-367.
- [54] Tschong, Y. K.(2010). Padagogy in visual generation: educational relationship between picture and video. *The Korean Journal of Philosophy of Education*, 50, 189-206.
- [55] Umilta, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. I know what you are doing: A neurophysiological study. *Neuron*, 31(1), 155-165.
- [56] Wallace, M. T., Ramachandran, R., & Stein, B. E.(2004). A revised view of sensory cortical parcellation. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 101(7), 2167-2172.
- [57] Xu, J. Yu, L., Rowland, B. A., Stanford, T. R., & Stein, B. E.(2012). Incorporating Cross-Modal Statistics in the Development and Maintenance of Multisensory Integration, *The Journal of neuroscience*, 32(7), 2287.
- [58] Yang, I. M. H., & Damasio, A.(2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education, *Mind Brain and Education*, 1(1) 1-10.
- [59] Yang, M. H. Kim, E. J.(2010). The Influence of Emotional Regulation on Learning Strategy: mediated by Emotionality. *Korean Journal of Educational Psychology*, 24, 449-467.
- [60] Doosan Encyclopedia. <http://www.doopedia.co.kr>

저자소개



조 주 연

1980 서울대학교 사범대학 교육학
과(문학사)
1985 서울대학교 대학원 교육학과
(교육학석사)
1990 미국 오리건대학교 대학원
(철학박사)
1992~현재 서울교육대학교 교육
학과 교수
2009~2011 서울교육대학교 교육
연수원장 역임
2010~2012 한국초등교육학회 회
장 역임
관심분야: 뇌기반 교육, 교육신경
학, 학습심리 등
e-mail: jycho@snue.ac.kr



김 미 현

2017 서울교육대학교 초등교육과
(교육학사)
2019 서울교육대학교 대학원 교육
심리학과(교육학석사)
2000~현재 서울포이초등학교 교
사
관심분야: 뇌기반 교육, 교육신경
학, 학습심리 등
e-mail: mhkim0326@sen.go.rk