

뇌 과학 이론에 기초한 보편적 학습설계 표상의 원리 및 교수 전략 탐색*

김 용 성** · 이 학 준*** · 오 재 분**** · 윤 정 하*****

An Exploration of Principle of Representation and Instruction Strategies in Universal Design for Learning based on Brain Science Theory*

Kim, Yong-Seong** · Lee, Hag-Jun*** · Oh, Jae-Bun**** · Yoon, Jeong-Ha*****

요약

[목적] 이 연구의 목적은 인지적 네트워크 기반 표상의 원리와 관련된 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과를 분석하여 보편적 학습설계 표상의 원리에 대한 교수 전략을 제안하는 것이다. **[방법]** 이를 위해 보편적 학습설계의 인지적 네트워크와 표상의 원리에 관한 인지심리학 및 인지신경과학(뇌 연구) 연구 결과를 분석하였다. 그 후 연구 결과를 융합하여 보편적 학습설계 표상의 원리 교수 전략에 주는 방향적 시사점을 다음과 같이 나누었다. **[결과]** 첫째, 사고 과정 시 발생하는 뇌 활성화에 대한 연구 결과를 분석하여 학습 자료, 제시 방법에 관한 내용을 추출하고 그 내용에 대한 위계적 수준을 파악하였다. 둘째, 보편적 학습설계에 대한 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과를 종합하여 지각을 위한 다양한 학습 자료 제공 전략, 언어, 수식, 기호의 다양한 선택 제공 전략, 이해를 도울 수 있는 다양한 선택 제공 전략에 대한 교수 전략을 제안하였다. **[결론]** 이 연구는 보편적 학습설계 이론의 검증과 보편적 학습설계 기반 교수 전략 개발을 위한 구체적인 자료를 제공할 수 있는 뇌 과학 연구의 필요성을 제기한다. 또한, 뇌 과학 연구 결과와 인지심리학 연구 결과와 융합하여 보편적 학습설계 기반 수업에 적용하는 연구를 지속해야 할 필요성을 제기한다.

주제어 : 보편적 학습설계, 표상의 원리, 뇌 기반 학습

ABSTRACT

[Purpose] The purpose of this study is to propose instructional strategy on the principles of representation in universal design for learning(UDL) by analyzing cognitive psychology and cognitive neuroscience research results about principle of representation based on cognitive network. **[Method]** To do this, we analyzed cognitive psychological and research cognitive neuroscience(e.g., brain research) about cognitive network and principles of representation in UDL. After that, the research results of this area were converged and the directional implications about instructional strategy for principle of representation in UDL were divided as follows. **[Results]** First, by analyzing the results of the brain activity that occurred during the thinking process, the contents of the learning data and the presentation method were extracted and the hierarchical level of the extraction contents was grasped. Second, by integrating cognitive psychology and cognitive neuroscience research results, it proposed instructional strategy for guideline that provide option for perception, provide options for language, mathematical, expressions, and symbols, and provide options for comprehension. **[Conclusion]** This study raises the need for brain science research to provide concrete data for verification of universal learning design theory and development of universal learning design-based teaching strategy. It also raises the need to continue research that is applied to universal learning design-based classes by converging with brain science research results and cognitive psychology research results.

Key Words : universal design for learning, principle of representation, brain based learning

* 이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A5B8913807).

** 제 1저자, 대구대학교 한국특수교육문제연구소 연구교수
Research Professor, Research Institute of the Korea Special Education, Daegu University

*** 교신저자, 대구대학교 한국특수교육문제연구소 연구교수(sportia2000@hanmail.net)
Research Professor, Research Institute of the Korea Special Education, Daegu University

**** 공동저자, 대구대학교 일반대학원 박사과정
Doctor's Course, Research Institute of the Korea Special Education, Daegu University

***** 공동저자, 대구대학교 한국특수교육문제연구소 연구원
Researcher, Research Institute of the Korea Special Education, Daegu University

서론

연구의 필요성 및 목적

20세기 중반 이후 교육 현장에서 중요한 논의 주제로 다루어지고 있는 분야가 학습부진 학생 문제이다 [1]. 학습 부진 학생이란 교과학습을 위한 정상 범위의 지능과 잠재력을 지니고 있음에도 불구하고, 학생 개인이 기대하는 학업 성취 수준과 비교하여 실제 학업 성취 수준이 현저히 낮은 학생으로 정의된다 [2]. 이들은 일반 학생들과 비교하여 학습 동기, 인지, 행동의 영역에서 낮은 성취 수준을 나타내는 특성이 있는 것으로 보고되고 있다 [2, 3]. 이런 학습부진 학생은 학습 상황에서 지속적인 실패를 경험함으로써 낮은 학업성취 수준과 학습된 무기력감을 느끼고, 부정적인 자아개념을 가지게 된다 [1, 4]. 또한, 2015년 한국 아동·청소년 인권실태 보고서의 통계자료에 따르면 우리나라 13~19세 청소년들에게 스트레스 유발하는 요인은 ‘학업 부담’과 ‘미래에 대한 불안’이었다. 심지어, 전체 응답자 중 33% 학생들이 자살 충동 경험을 느낀 적이 있는 것으로 나타났다 [5]. 게다가, 이러한 인지적 및 정서적 불편함을 지속해서 느끼는 현상은 학습 상황에서 학습부진 학생들의 소외 현상을 일으키고 이러한 현상에 의하여 학습부진 학생들은 중상위권 학생들과의 인지적 격차가 더욱 벌어지고, 고립된 학습 경험으로 인해 사회성이 부족한 행동을 보이기도 한다 [6]. 이처럼 학교에서의 학습 부진 현상은 인지적, 정서적, 사회적 발달 측면의 추가적인 문제를 발생시킬 우려가 있다. 이와 같은 이유로 인하여 학습부진에 문제해결에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

한편, 21세기의 지식 정보화 사회에 대응하기 위한 인간을 육성하기 위하여 우리나라 교육은 전인적 성장을 바탕으로 자신의 개성과 진로를 결정하는 사람, 문제해결과정에서 기초 능력을 기반으로 창의성을 발휘하는 사람의 양성을 목적으로 하고 있다 [7]. 이를 위해 우리나라 교육은 모든 학생의 교육적 성취를 목적으로 삼고 있기보다는 인재양성을 위한 교육적 성취에 치중하면서 중상위권 학생들의 능력 함양에 초점을 맞추고 진행되고 있는 것이 현실이다 [7]. 그나마 학교에서 진행되는 학습부진 학생을 위한 교육도 일상적인 수업상황에서 이루어지지 않고 있으며 [2, 8], 학생들의 학습부진 원인, 특성, 수준을 고려하지 않은 수업 진행과 체계적인 연구를 통해 개발된 교육 프로그램이 아닌 교수-학습프로그램의 적용이 이루어지고 있다 [2]. 또한, 학습부진 학생의 인지적 및 학습 특성을 고려한 맞춤형 교육 프로그램의 부재로 인하여 반복적인 문제 풀이 방식의 방과 후 보충 수업, 교과교육의 지식이 부족한 외부 전문가 초청 특강의 형태로 진행되고 있었다 [2, 7]. 이처럼 우리나라의 교육에서는 학습부진 학생을 포함한 모든 학생의 교육적 요구를 반영하는 교육이 같은 공간에서 잘 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

최근, 장애 및 학습부진 학생을 포함한 모든 학생의 교육적 요구를 반영하는 접근 방법의 개념으로 보편적 학습설계(Universal Design for Learning, 이하 UDL)가 소개되었다 [9-11]. UDL은 모든 학생의 다양한 교육적 요구를 반영하는 수업을 위하여 신경과학, 학습과학, 인지심리학 등과 같은 다양한 분야의 연구 성과를 이론적 배경으로 하는 교수,

학습, 평가에 대한 새로운 교수적 접근 방법을 의미한다 [11, 12]. UDL 연구의 선행적 임무를 수행하는 미국의 특수교육공학센터(Center for Applied Special Technology, 이하 CAST)에서는 UDL의 인지 심리학적 배경은 뇌의 세 가지 신경 네트워크에 기반을 두고 있다고 말하였다 [11, 13]. 그 세 가지 신경 네트워크에는 뇌의 후두엽, 측두엽, 두정엽에서 담당하는 인지적 네트워크, 뇌의 전두엽에서 담당하는 전략적 네트워크, 변연계에서 담당하는 정서적 네트워크가 포함된다 [11, 13]. CAST에서는 세 가지 신경 네트워크를 기반으로 인지적 네트워크를 이론적 배경으로 하는 ‘다양한 방식의 표상 수단 제공’ 원리(표상의 원리), 전략적 네트워크를 이론적 배경으로 하는 ‘다양한 방식의 행동 및 표현수단 제공’ 원리(행동 및 표현의 원리), 정서적 네트워크를 이론적 배경으로 하는 ‘다양한 방식의 학습 참여 수단 제공’ 원리(참여의 원리)를 제안하였다 [11, 13]. 이 중에서 ‘다양한 방식의 표상 수단 제공’ 원리와 관련된 뇌 영역은 인지적 네트워크를 구성하는 후두엽, 측두엽, 두정엽이다 [13]. 후두엽은 시각 정보 인식과 연관된 뇌 영역이고 [14, 15], 측두엽은 대상에 대한 의미를 파악하기 위해 자세히 관찰하는 것, 청각 정보를 인식하는 것, 문제해결을 위해 장기기억의 일화적 및 의미기억의 인출과 관련이 있는 인지기능을 담당하는 뇌 영역이다 [14, 15]. 마지막으로 두정엽은 현상 및 대상의 부분적 또는 위치 정보를 파악하는 인지기능을 담당하는 뇌 영역이다 [14, 15]. 또한, 후두엽과 측두엽은 연합하여 색깔, 표면 패턴 등과 같은 대상의 형태적 세부 특성을 파악하는 시각 정보처리 경로인 ‘What pathway’의 인지기능을 수행한다 [14, 15]. 그리고 후두엽과 두정엽은 연합하여 대상 또는 현상의 부분적 및 위치 정보를 탐색하는 시각 정보처리 경로인 ‘Where pathway’의 인지기능을 담당한다 [14, 15]. 다시 말해 후두엽-측두엽과 후두엽-두정엽 연합 시각 정보처리 신경 경로로 대변되는 인지적 네트워크는 보고, 듣고, 읽는 활동을 통해 인식한 학습 내용을 표상하는 것을 설명하는 네트워크라고 할 수 있다 [16]. 이런 인지적 네트워크를 기반으로 제시된 다양한 방식의 표상 수단 제공 원리는 ‘무엇’을 배우고 이해할 것이냐는 질문에 대한 답이다 [16]. UDL은 이 원리의 구현을 위해 학습 내용에 대한 정보를 단일 형태의 자료 제시보다는 다양한 유형의 자료를 제공할 것을 제안한다 [11, 16]. 즉, 학습자들의 전반적인 학습 특성을 고려하여 다양한 표상 방식을 제공하고 그중 자신에게 맞는 표상 방식을 선택할 기회를 주는 것, 이것이 인지적 네트워크 기반 다양한 방식의 표상 수단 제공의 목표이다 [11, 16].

최근 UDL 연구가 다양한 영역에서 진행되고 있는 것으로 나타났다 [17]. 미술 [18], 과학 [19-22], 사회 [23, 24] 등 다양한 교과에서 UDL 적용 가능성 연구가 진행되었고, 매체 제작 [23, 25], 인식 조사 [26, 27] 등과 같은 방법론적 측면의 연구도 진행되었다. 그리고 교육 효과성 분석은 학업성취도 [19, 21, 22, 23], 수업 참여도 [23, 24], 상호작용 [18] 등의 측면에서 이루어졌다.

이처럼 UDL을 주제로 하는 연구가 다양한 분야로 확장되어 진행됐지만, UDL 원리와 지침에서 학습 소재 및 제시 유형에 대한 구체적인 방법 및 전략들에 대한 안내가 제공되지 않는다는 지적이 있다 [17].

한편, 교육학자들은 학생들의 효과적이고 효율적인 학습을 가능하게 하는 학습이론을 개발하기 위해 뇌가 정보를 처리하는 방법인 인지 처리 방식에 대하여 고민하여 왔다.

뇌에서 이루어지는 인지 처리 방식을 연구하는 학문으로는 인지심리학과 인지 신경과학 등이 있다 [28]. 여기서 인지심리학은 행동주의나 인지주의와 같은 학습이론 기반의 연구접근에 따라 뇌의 정보처리 방법을 행동 수준에서 연구하는 학문으로 지필 평가, 면담, 행동 관찰과 같은 방법을 활용하여 반응시간, 반응의 정확성, 선택지의 선택 등의 반응을 관찰하고 직접 볼 수 없는 뇌의 기능을 간접적으로 추론하는 연구방법론을 가진다 [28]. 이에 반해 인지 신경과학은 뇌의 정보처리 방법을 생리적 수준에서 연구하는 분야로 뇌전도(Electroencephalograph, EEG), 뇌자도(Magnetoencephalography, MEG), 기능적 뇌 자기공명영상(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI), 양전자 단층 촬영(Positron Emission Tomography, PET) 등과 같은 뇌 영상측정기술을 활용하여 과제 활동으로 인하여 발생하는 뇌 활성을 관찰하고 과제 활동을 위해 뇌가 어떻게 기능하는지를 탐색하는 연구방법론을 가진다 [28].

위에서 언급한 UDL 기반 연구들은 인지심리학적 접근으로 이루어진 결과물이다. 이런 인지심리학적 기반의 연구는 뇌 수준에서 이루어지는 인간의 사고 과정을 간접적으로 추론하기 때문에 학습에 영향을 미치는 인간의 사고 과정에 대한 실증적인 정보를 제공하는 데 제한이 따른다는 단점이 있다 [29, 30]. 이와 같은 한계를 보완하기 위해서 학습 과정에 직접 영향을 미치는 과정인 뇌의 사고 과정에 대한 정보를 제시하는 것이 가능한 인지 신경과학의 연구 방법이 학습과학 연구패러다임으로 제안되었다. 인지 신경과학 기반 학습과학 연구패러다임은 학습과 같은 인간의 사고가 뇌 활성에 의해 이루어진다는 견해를 전제로 하고 있다 [31]. 또한, 인간의 사고는 과제 집중도 등과 같은 과제 행동 특성에 영향을 받으며, 과제 행동 특성은 두뇌 활성 경향성을 통해 파악할 수 있다고 말한다 [31]. 이처럼 인지 신경과학 기반 학습과학 연구패러다임은 특정 뇌 영역에서 발생하는 활성 경향성 분석을 통해 인간 사고 과정에 대한 실증적 정보를 제공하는 것이 가능하다는 장점이 있다고 할 수 있다 [30]. 하지만, 인지 신경과학은 학생의 행동 수준에 대한 정보를 정량적으로 표현하는 측면에서 취약성을 가진다 [30]. 따라서 교육학자들은 인지심리학적 접근으로 인간의 사고 모델과 사고의 수준에 대해 밝히고 인지 신경과학적 접근으로 사고의 수준에 영향을 미친 뇌의 사고 과정을 밝히는 인지심리학 및 인지 신경과학의 융합적 접근이 필요하다는 견해를 밝히고 있다 [30].

이에 본 연구는 인지적 네트워크를 기반으로 소개된 보편적 학습설계 표상의 원리와 지침과 관련된 인지심리학 및 인지 신경과학 분야의 연구 결과들을 종합하여 분석하고 논의하는 방식을 진행하였다. 인지심리학 분야의 연구 결과 분석을 통해 보편적 학습설계 표상의 원리와 관련된 교수-학습 전략의 요소들을 탐색하고 그 요소와 관련된 인지 신경과학 분야의 연구 결과 분석을 통해 표상의 원리 기반 세부적인 교수-전략을 탐색하였다. 이와 같은 연구를 통해 인지심리학 및 인지 신경과학의 융합적 접근이 효과적인 교수-학습이론 개발을 위해 성공적으로 자리 잡을 가능성을 모색하고자 하였다.

연구 문제

보편적 학습설계에서 말하는 인지적 네트워크 기반 표상의 원리와 지침과 관련된 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과들을 분석하여 보편적 학습설계 표상의 원리에 대

한 교수 전략을 제안하는 것이 목적인 본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 인지적 네트워크와 관련이 있는 뇌 영역과 신경 회로는 무엇일까?

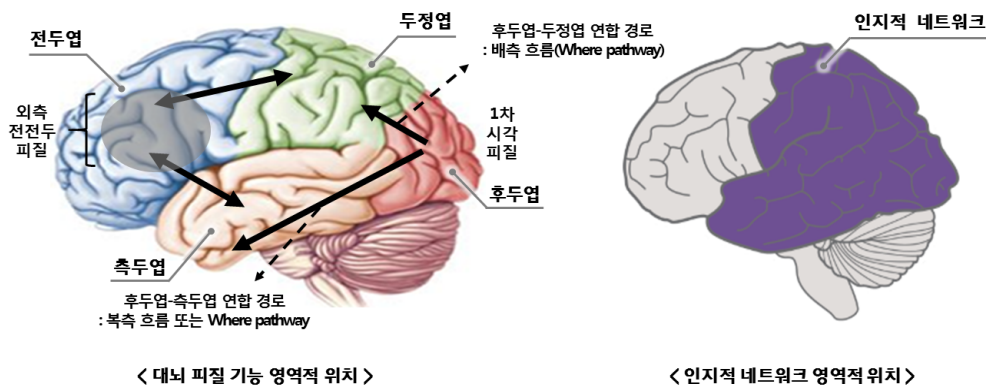
둘째, 학습에 대한 인지심리학적 이해를 통한 표상의 원리 및 지침에서 중요한 교육적 요소는 무엇인가?

셋째, 표상의 원리 및 지침에서 중요한 교육적 요소에 대한 인지 신경과학적 이해가 주는 교육적 시사점은 무엇인가?

넷째, 표상의 원리를 반영한 구체적 학습 전략은 무엇인가?

인지적 네트워크와 대뇌피질 기능과의 관계

대뇌피질의 기능 영역의 위치와 보편적 학습설계 표상의 원리 기반이 되는 인지적 네트워크의 영역적 위치를 그림으로 정리한 결과는 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Cerebral cortical functional regions location(Kang et al., 2010) and cognitive network(CAST, 2018)

인지적 네트워크는 인간이 정보를 보는 방식을 감지하고 의미를 부여하는 데 관여하는 뇌 네트워크를 의미하며, 이 네트워크는 정보, 생각, 개념을 파악하고 이해하는 데 도움을 주게 된다 [33]. 즉, 인지적 네트워크는 학습하는 내용을 파악하는 기능을 수행하는 데 영향을 미치는 네트워크라고 할 수 있다. CAST에서는 대뇌피질 중 후두엽, 두정엽, 측두엽을 인지적 네트워크와 관련된 뇌 영역으로 안내하고 있다 [13, 33].

대뇌피질은 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽의 4가지 영역으로 구분된다. 전두엽은 문제해결을 위한 종합적 판단 및 계획 수립과 같은 고등인지를 수행하는 영역으로 문제해결을 위하여 핵심정보에 대한 기억을 유지하는 목표지향적 선택적 주의집중, 의사결정, 행동 단위 조합, 언어 조합, 정보의 비교-판단-최종 선택, 비효과적이거나 자신에게 해가 되는 계획이나 행동의 억제, 기억 회상을 포함한 뇌 나머지 영역에 행동 명령과 같은 기능과 연관된 뇌 영역이다 [14, 15]. 두정엽은 위치 및 공간 정보를 생성하는 데 중요한

기능을 하는 영역으로 시각적 정보와 위치 및 공간 정보의 통합에 의한 대상 또는 현상의 부분적 및 위치적 정보 생성, 문제해결과정 동안 시각적 정보에 대한 기억을 유지하는 시각적 작업기억과 같은 인지기능과 연관된 뇌 영역이다 [14, 15]. 측두엽은 음성정보와 장기기억을 처리하는 영역으로 대상이나 현상에 의미를 부여하기 위한 장기기억 상태의 일화적 및 의미기억 인출, 대상의 의미를 부여하기 위한 자세한 관찰과 같은 인지 기능을 담당하는 것으로 보고되고 있다 [14, 15]. 마지막으로 후두엽은 시각피질이 포함된 영역으로 시각 정보를 인지하는 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다 [14, 15].

또한, 시각 정보는 ‘Where pathway’ 라 불리는 후두엽-두정엽 연합경로인 배측 경로와 ‘What pathway’ 라 불리는 후두엽-측두엽 연합경로인 복측 경로와 같은 두 가지 경로에 의하여 처리된다 [14, 15]. 배측 경로는 대상 또는 현상의 위치 및 공간 정보, 움직임 등의 정보를 생성하는 일을 수행하고 [14, 15], 복측 경로는 대상의 형태적 특성인 색채, 모양, 윤곽, 표면 패턴과 사물의 정체를 파악하고 구분하는 일을 한다 [14, 15].

이와 같은 두 가지 시각 정보처리 신경 경로는 서로 독자적으로 기능을 하는 것이 아니라 두 가지 신경 경로를 통해 파악된 대상의 형태적 특성과 대상 및 현상의 위치 및 공간 정보가 전두엽에 있는 외측 전전두피질 영역에 투사되어 하나의 정보로 통합되는 과정을 거쳐 최종적으로 대상 및 현상을 설명하는 정보로 표현되게 된다 [15].

위의 결과를 종합하면, 인지적 네트워크는 정보를 탐색하고 정보의 의미를 부여하는 기능을 수행하는 네트워크라는 측면에서 시각 정보처리 신경 경로를 포함한다고 할 수 있다. 즉, 인지적 네트워크는 후두엽의 1차 시각피질에서 배측 및 복측 경로의 두 가지 시각 정보처리 경로로 나뉘어 각각 경로와 관련된 정보를 생성한 후 외측 전전두피질에서 다시 통합되는 시각 정보의 흐름과 연관된 네트워크라고 할 수 있다. 다시 말해 인지적 네트워크는 1차 시각피질에서 인지한 시각 정보에 관한 구체적 정보를 생성하기 위해 배측 경로를 통해 생성한 대상의 위치 및 공간적 정보를 파악한 것과 복측 경로를 통해 대상의 형태적 특성 및 의미를 파악한 것을 전전두피질에서 시각적 추상 정보로 통합하여 최종 정보를 생성하는 사고 과정을 포함하는 개념이라고 할 수 있다. 따라서, 인지적 네트워크는 후두엽, 측두엽, 두정엽의 기능으로만 설명할 수 있는 개념이 아닌 후두엽, 측두엽, 두정엽, 전두엽과 관련된 인지기능과 후두엽과 두정엽의 연합경로인 ‘Where pathway’ 와 후두엽과 측두엽의 연합경로인 ‘What pathway’ 에서 전두엽의 외측 전전두피질로 이어지는 시각 정보 신경 처리 경로에 관한 개념으로 설명할 수 있는 개념이라고 할 수 있다.

표상의 원리와 관련된 인지심리학 연구

표상의 원리는 학습자가 ‘무엇’ 을 학습하는지에 대한 다양한 교수적 지원에 관한 내용으로 구성되어 있다. 학습자는 다양한 방식으로 제시된 정보를 효과적으로 인식하고 이해할 수 있어야 한다. 예를 들어, 시각장애나 청각장애와 같은 감각 장애가 있는 학습

자, 난독증이 있는 학습자, 다른 언어 또는 문화적 관습에 익숙한 학습자는 모두 서로 다른 방식으로 정보에 접근하는 것이 효과적일 수 있다. 즉, 인쇄된 텍스트를 통해 정보를 빠르고 효율적으로 파악하는 것을 선호하거나, 시각적 또는 청각적 수단을 통해 정보를 더 빠르고 효율적으로 파악하는 것을 선호하는 학습자가 있을 수 있다. 결론적으로 말하면, 모든 학습자에게 최적의 효과를 볼 수 있는 공통적인 표상 방법은 없다. 이를 위해 CAST(2018)에서는 <Table 1>과 같이 표상의 원리를 3가지 지침(guideline)과 지침별 3~5개의 체크포인트(checkpoint)로 세분화하였다 [13].

<Table 1> UDL Guideline version 2.2[graphic organizer]: Principle I

Division	Provide multiple means of Representation
Access	Guideline 1 Provide options for Perception Checkpoint 1-1 Offer ways of customizing the display of information Checkpoint 1-2 Offer alternatives for auditory information Checkpoint 1-3 Offer alternatives for visual information
Build	Guideline 2 Provide options for Language & Symbols Checkpoint 2-1 Clarify vocabulary and symbols Checkpoint 2-2 Clarify syntax and structure Checkpoint 2-3 Support decoding of text, mathematical notation, and symbols Checkpoint 2-4 Promote understanding across languages Checkpoint 2-5 Illustrate through multiple media
Internalize	Guideline 3 Provide options for Comprehension Checkpoint 3-1 Activate or supply background knowledge Checkpoint 3-2 Highlight patterns, critical features, big ideas, and relationships Checkpoint 3-3 Guide information processing and visualization Checkpoint 3-4 Maximize transfer and generalization
Goal	Expert learners who are Resourceful & Knowledgeable

Suggested Citation: CAST (2018). Universal design for learning guidelines version 2.2 [graphic organizer]. Wakefield, MA: Author.

이와 같은 표상의 원리 근거는 정보의 지각, 인지 양식, 이해 등과 관련된 학습자 특성 분석 연구에서 찾을 수 있다. 정보처리 이론, 매체와 관련된 이론, 인지 양식에 의한 인지의 변화와 관련된 이론과 관련된 연구들은 체계적이고 효과적인 정보제시와 설계 방법에 관한 교육적 시사점을 제공한다. 이 절에서는 보편적 학습설계 원리 기반 교수 전략 및 방법에 관한 이론적 근거를 제시하는 선행연구들을 지침별로 간략하게 정리하여 지침별 교수 전략을 서술하였다.

지침 1. 인지 방법의 다양한 선택 제공

지침 1은 모든 학습자가 주요 정보를 인식할 수 있도록 다른 감각을 활용(예: 시각, 청각, 촉각 활용)하여 같은 내용의 정보를 접할 수 있는 옵션을 제공하는 것과 사용자에 의해 조정이 가능한 포맷(확대할 수 있는 텍스트, 크게 조정이 가능한 소리)으로 정보를

제시하는 것이 중요하다는 것을 말해준다 [13]. 즉, 지침 1은 학습자가 선호하고 잘 인식할 수 있는 형태로 자료를 제공하는 것의 중요성을 강조하는 지침이라고 할 수 있다.

지침 1은 학습자의 인지 양식 및 기능 수준 측면에서의 개인차에 따라 다른 유형의 과제 수행 시 인지 부하에 미치는 영향을 통해 교수 전략 및 방법을 탐색할 수 있다.

먼저, 학습자의 인지기능 수준은 전체과제와 부분과제의 문제해결에 영향을 미치는 것으로 나타났다 [34]. 여기서 전체과제제시에 의한 학습은 본격적인 학습을 수행하기 전에 완성된 형태의 과제를 먼저 보여주어 학습자가 과제에 관한 개괄적인 내용을 대략 파악한 후 학습을 수행하는 활동을 말한다 [34]. 즉, 학습자는 전체과제제시에 의한 학습을 통해 제시된 부분과제와 완성된 최종결과물을 비교 분석하면서 최종결과물을 학습하는 활동을 수행하게 된다. 그리고 부분과제에 의한 학습은 전체과제를 작은 단위로 학습과제로 나눈 후 작은 단위의 학습과제에 대한 반복적인 연습을 통해 학습 내용에 대한 자동화가 일어나도록 유도하는 목적의 학습 활동을 의미한다 [34]. 즉, 학습자는 부분과제에 의한 학습을 통해 학습과제의 부분요소를 반복적으로 연습하게 된다.

전체과제제시에 의한 학습의 경우에는 사전인지기능이 높은 학습자가, 부분과제연습에 의한 학습의 경우에는 사전인지기능이 낮은 학습자가 다른 집단과 비교하여 문제해결 측면에서 긍정적인 지표를 나타냈다 [34]. 하지만, 사전인지기능이 낮은 학습자도 전체과제제시에 의한 학습을 수행할 때 과제에 대한 스키마를 형성하지 못하기는 하였지만, 전체적인 맥락을 파악하는 문제를 수행할 때 부분과제연습보다 문제해결 측면에서 긍정적인 결과를 보였다 [34].

이상을 정리하면, 집단의 수준과는 관계없이 전체과제 제시에 의한 학습은 문제해결 측면에서 효과가 있다고 할 수 있다. 하지만, 사전인지기능이 낮은 학습자에게는 부분과제연습을 통한 자동화에 의하여 스키마 획득의 기회를 제공하는 보충학습이 필요하다고 할 수 있다.

주어진 자극을 전체적으로 비교하여 처리하는 전체 처리 인지 양식을 가진 사람과 자극의 개별속성을 비교하여 처리하는 부분 처리 인지 양식을 가진 사람이 시각 변별과제, 스트룹 과제, 범주화 과제 수행 시 나타나는 행동 특성을 분석한 연구도 있었다 [35]. 이 연구의 시각 변별과제에서는 전체/부분 인지 양식에 의한 행동 특성은 나타나지 않았다 [35]. 범주화 과제에서 범주사례 사이의 유사성은 전체 양식의 범주판단 정확성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 [35], 부분 양식의 범주판단에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 [35].

시각형 인지 양식을 가진 사람은 그래프, 다이어그램, 그림 등과 같은 비언어적 자극에 의한 시각 정보를 통한 학습을 선호하며, 언어형 인지 양식을 가진 사람은 읽기, 듣기 등과 같은 언어적 자극에 의한 학습을 선호하는 것으로 나타났다 [36]. 즉, 텍스트 정보에 의한 학습 상황에서는 언어형 인지 양식을 가진 학생의 학습효과가 높고 애니메이션 또는 나레이션 조건에서는 시각형 인지 양식을 가진 학생의 학습효과가 높다. 더 나아가 시각형 인지 양식을 가진 사람은 시각 정보가 먼저 제시될 경우, 언어형 인지 양식을 가진 사람은 언어 정보가 먼저 제시될 경우 정보처리의 속도와 학습수행수준에서 긍정적인 결과를 나타냈다 [36].

이상의 연구 결과는 인지 방법의 다양한 선택 제공을 할 때 과제의 목적과 학습자의

인지 양식을 고려하는 것이 중요하다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 세부적인 전략 및 방법은 다음과 같다.

첫째, 전체적인 문제해결을 위하여서는 전체적인 맥락을 파악할 수 있도록 완성된 결과물과 제시된 부분과제를 제시하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

둘째, 인지능력이 낮은 학습자의 경우 과제 해결을 위한 스키마를 파악할 수 있도록 부분과제의 반복적인 연습이 필요하다고 할 수 있다.

셋째, 시각 정보 선호 학습자에게는 시각 정보에 의한 학습 맥락 및 학습 정보 파악이 유리하고 언어 정보 선호 학습자에게는 언어적 자극에 의한 학습 맥락 및 학습 정보 파악이 유리하다고 할 수 있다. 따라서, 시각 정보 선호 학습자에게는 시각 정보를 먼저 제시하여 주는 것이 중요하고 언어 정보 선호 학습자에게는 언어 정보를 먼저 제시하여 주는 것이 중요하다.

지침 2. 언어와 기호의 다양한 선택 제공

지침 2는 학습자마다 언어적 또는 비언어적 표현에 있어서 차이가 있어서 단일 형태의 표현으로 정보를 제시하는 것이 아닌 모든 학습자가 개념에 대한 명확한 이해를 돕기 위한 대체 표현을 제공하는 것이 중요하다는 것을 말해준다 [13]. 왜냐하면, 한 학습자에게 개념을 명확하게 이해시킬 수 있는 어휘가 다른 학습자에게는 이질적으로 다가갈 수 있기 때문이다.

지침 2에 대한 교수 전략 및 방법은 시각적 강조 효과와 시각적 단서 제시에 의한 학습자의 학습 행동 및 인지 부하 측면의 변화를 통해 파악할 수 있다.

먼저, 컴퓨터 환경에서 한글 단어를 강조할 때 보편적으로 사용되는 크기, 굵기, 글자색, 글자 배경색, 밑줄과 같은 6가지 시각적 강조 효과 중 크기와 굵기의 시각적 강조기법이 다른 기법과 비교하여 효과가 큰 것으로 나타났다 [37]. 그리고 동영상을 통해 학습할 때는 이미지와 같은 시각적 단서와 판서에 따른 시각적 단서가 학습자의 학습 만족도와 학업 성취도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다 [38].

또한, 과학학습 상황에서 효과적인 교수 전략 중 하나로 삽화의 제공이 있다. 하지만, 삽화가 항상 학생들의 과학학습에 도움이 되는 것은 아니다. 학생들이 삽화의 의미를 정확히 파악할 수 있을 때만 과학학습에 긍정적인 영향을 미친다 [39, 40]. 삽화가 인지적 수준이 다른 학생 집단의 과학학습에 미치는 영향을 살펴보면, 과학학습 우수 집단은 생명과학 교과서의 텍스트 정보 및 텍스트 정보와 관련된 삽화 정보에 주의 집중하는 것에 의하여 텍스트에서 중요한 문구나 어휘를 추출하는 것과 텍스트와 삽화의 정보를 통합하여 이해하는 것이 가능하여 부가적인 삽화를 통한 학습의 속도가 빠르고 효율적일 수 있다. [40]. 하지만, 과학학습 부진 집단은 텍스트 정보에서 중요한 문구나 어휘를 추출하여 이해하는 어휘 지식이 부족하고 텍스트 정보와 삽화의 정보를 연계하여 사고하는 것이 불가능하여 텍스트 정보를 이해하는 데 삽화를 효율적으로 활용하지 못하는 것으로 밝혀졌다 [40]. 따라서 삽화가 과학학습 부진 집단에게도 의미 있는 시각 학습 자료로 활용되기 위해서는 언어와 그림 정보를 관계를 연결하는 연결선 등과 같은 시각적

단서가 필요하며, 그림 정보에 포함되는 캡션 내용도 특징적이고 핵심적인 정보만 간략한 형태로 강조하여 제공해 주는 것이 필요하다.

이상의 연구 결과를 정리하여 언어와 기호의 다양한 선택 제공을 위한 교육적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 텍스트 정보 중 중요한 문구나 어휘를 강조하기 위해서는 글자의 크기를 크게 하고 굵기를 굵게 한 것이 중요하다.

둘째, 동영상을 통한 학습을 할 때는 중요한 개념에 대한 이미지와 같은 시각적 단서와 판서가 중요한 교수 요소이다.

셋째, 텍스트 정보의 이해를 높이기 위해 그림 정보를 활용할 경우, 텍스트 정보와 그림 정보의 관계를 나타내는 연결선 등과 같은 시각적 단서와 그림 정보에 포함하는 캡션 내용을 특징적이고 핵심적인 정보만 간략한 형태로 작성하는 것이 중요하다.

지침 3. 이해를 돕기 위한 다양한 선택 제공

지침 3은 모든 학습자가 정보를 유용한 지식으로 수용할 수 있도록 배경지식의 제공 및 활성이 중요하다는 것을 말해준다. 또한, 패턴, 중요한 특징, 주요 아이디어, 및 관계를 강조하기 위한 모델과 스캐폴딩을 제공하는 것 등을 제안하고 있다 [13].

배경지식과 스캐폴딩 제공은 교수-학습 상황에서 중요한 전략으로 다루어져 왔다.

먼저, 배경지식에 의한 학습은 많은 연구를 통하여 학생들의 학업 성취도에 긍정적인 영향을 미치는 요인으로 밝혀졌다. 배경지식(prior knowledge)은 새로운 문제 또는 과제를 해결하기 위해 사용하는 개인이 이미 알고 있는 지식을 의미한다 [41]. 즉, 학습자가 새로운 지식을 학습하기 전 학습 내용과 관련하여 이미 가지고 있는 지식을 말한다.

오슈벨(Ausubel)은 학습자가 새로운 정보를 학습하는 것을 돕기 위해 선행조직자(advance organizer)를 활용하는 것이 효과적이라고 말하였다 [42]. 선행조직자는 수업 전이나 도입부에 제공되는 학습과제보다 추상적, 일반적, 포괄적이며, 학습과제와 연결할 수 있는 학습자의 인지구조 내의 지식과 관련된 자료를 의미한다 [43, 44]. 또한, 선행조직자는 학습자가 새로 학습할 과제나 정보에 대하여 사전에 이미 알고 있는 자료를 포함하는 유·무형의 자료로써, 새로운 정보가 학습자의 인지구조에 포섭되는 것을 돕는 기능을 수행한다. [44]. 이런 선행조직자는 기존 인지구조에 포함된 지식과 새로 학습할 정보 사이의 연결이 유의미하게 연결되면 보다 효과적이고 유의미한 학습이 이루어진다는 유의미 학습이론에 근거한다 [42].

선행조직자는 학습자가 사용하는 학습 전략이기보다는 교사가 학습자의 학습을 돕기 위해 사용하는 교수 전략이며, 간단한 문장이나 사진, 그림, 지도, 삽화, 모형, 도표, 실물 등의 시각적 자료, 개념과 용어 사이의 관계를 논리적으로 나타내는 개념도, 체계적이고 구조화된 순서에 의한 질문이나 시범 실험 등과 같은 다양한 형태로 제공될 수 있다 [42, 45].

선행조직자의 내용과 맥락을 이해하여 선행조직자와 새로 학습할 과제 사이의 관계를 연결하는 것이 가능할 때와 과제 해결을 위해 사용할 기초적인 개념과 용어들 사이의

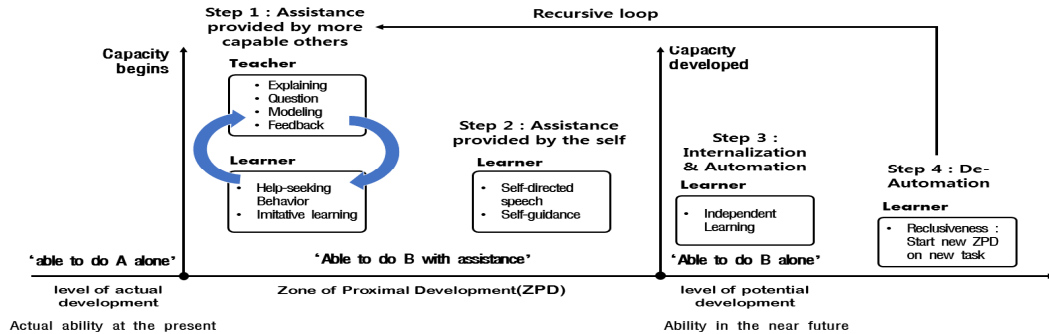
관계를 구체적으로 표현해 주었을 때 효과적일 수 있다 [44].

이밖에도 배경지식은 스키마 이론(Schema theory)과 위계학습 이론(Learning hierarchy theory)을 통해서도 교육적 중요성이 강조되었다. 스키마 이론은 학습자는 기존에 가지고 있던 인지구조인 스키마를 통해 새로운 정보를 쉽게 수용할 수 있다는 이론이며 [41], 위계학습 이론은 하위 개념 또는 능력요소를 선행하여 학습하여야 상위 개념 또는 능력요소를 학습하는 것이 가능하다는 이론이다 [41].

이런 배경지식의 교육적 효과는 과학교육 분야에서 중요한 학습 요소로 다루어지지만, 학생들이 어려워하는 과학적 가설 연구에서도 밝혀졌다. Shrager(1985), Klahr & Dunbar(1988), Kim & Lee(2007)는 가설을 생성하는 과정에서 중요한 요소는 관찰한 의문 현상과 관련된 배경지식이 중요하다고 하였다 [46-48]. 이러한 이유로 Park & Kang(2006)은 가설생성 능력을 함양하기 위해서는 의문 현상과 관련된 지식이나 의문 현상과 유사한 맥락의 경험상황을 다루는 학습 활동 제공이 중요하다고 하였다 [49]. 또한, Kim et al.(2014)는 배경지식의 양이 생성한 가설의 수와 정적 관계가 있다고 하였으며 [50], Kim & Kim(2017)은 배경지식을 활용한 비유 추론으로 낮은 인지 수준의 학생들도 가설을 생성하는 것이 가능하다고 밝혔다 [51].

이상의 유의미학습 이론, 스키마 이론, 위계학습 이론은 학습자에게 효과적인 학습을 위해서는 배경지식의 중요성을 강조한다. 또한, 위의 세 가지 이론에 의하면, 새로 학습할 내용과 학습을 위해 필요한 인지구조 또는 선행학습 내용 사이의 의미 있는 연결이 중요하기 때문에, 배경지식에 대한 학습자의 이해, 새로 학습할 내용과 배경지식 사이의 관계에 대한 학습자의 이해가 중요한 요소라고 할 수 있다.

또한, 비고츠키(Vygotsky)는 학습자가 효과적으로 개념을 습득하기 위해서는 필연적으로 학습자가 속한 사회와 관련이 있을 수밖에 없다고 하였다 [52]. 그리고 그는 학습자의 효과적인 학습을 위해서는 교사와 학생 사이, 인지적 수준이 다른 학생 사이의 협업이 중요하다고 말하며 근접발달영역(Zone of Proximal Development, 이하 ZPD)과 스캐폴딩(Scaffolding)이라는 새로운 개념을 제시하였다 [52]. ZPD는 독자적 문제해결이 가능한 실질적 발달 수준(Level of actual development)과 성인이나 보다 인지적 수준이 높은 또래와의 협업을 통한 문제해결이 가능한 잠재적 발달 수준(Level of potential development) 사이의 영역을 의미하며, 스캐폴딩은 근접발달영역 안에서 주어지는 구체적인 도움을 말한다 [52-54]. 스캐폴딩 과정에서 교수자와 학습자의 행동 특성 및 상호작용을 통한 학습자의 발달 과정을 도식화한 결과는 <Table 2>와 같다.



<Figure 2> The Process by which Learner develop within ZPD of Vygotsky

<Table 2>와 같이 ZPD에서 학습자의 활동은 4단계로 이루어진다 [53, 55].

첫 번째, 1단계에서는 학습자가 자신보다 인지적 수준이 높은 유능한 타인에 의해 교수적 지원을 받아 과제를 수행한다 [53, 55].

이 단계에서 교수자는 인지적 확장을 위한 설명 및 질문, 기능 수행을 도와주기 위한 모델링, 과제 수행 과정에서 잘못된 부분을 알려주는 교정적 피드백, 과제 수행을 지지하는 긍정적 피드백, 학습자가 목표에 대한 진전 수준을 파악하는 것을 돕는 메타인지적 (Metacognitive) 피드백을 수행한다 [54].

먼저, 교수자는 학습자가 인지 수준을 확장하는 것을 돕기 위한 설명 및 질문을 한다. 교수자의 설명과 질문은 학습자가 새로운 수준의 지식을 습득하거나 확인하는 것과 그들이 이미 알고 있는 지식과 과제를 통해 생각한 것을 비교 및 분석하게 하는 것을 돕는 목적으로 수행된다 [54].

선행연구 결과 [54, 56]에 의하면, 교수자의 유형에 따라 설명 및 질문을 활용하는 목적은 다르다. 교사의 경우에는 설명과 질문을 학습자가 스스로 과제 해결을 위한 전략 및 방법에 대하여 생각하는 것을 유도하기 위한 목적으로 수행한다. 반면, 또래 집단의 경우에는 전반적인 과제 해결 전략 및 방법을 설명하고, 세부적인 질문과 모델링 (Modeling)을 통한 도움을 제공하는 절차의 질문과 설명을 하였다. 이와 같은 교수자의 설명과 질문은 학습자가 새로운 인지 수준에 도달하는 것을 돕는다 [54].

그리고 교수자는 학습자의 기능 수행을 돕기 위한 모델링을 제공한다 [54]. 교수자는 과제를 올바르게 수행하는 전략 및 방법을 보여주는 활동을 하거나 잘못된 전략 및 방법을 보여주기도 한다 [54]. 올바른 전략 및 방법을 보여주는 것은 학습자가 과제 수행을 위한 올바른 전략 및 방법을 모방하게 하려고 수행하며, 잘못된 전략 및 방법을 보여주는 목적은 학습자가 과제를 수행하면서 발생한 오류를 스스로 생각하는 기회를 제공하기 위함이다 [54].

선행연구 결과에 의하면, 교사의 모델링은 교사가 먼저 시범을 보이고 난 후 학습자가 모방하는 절차로 이루어지며, 또래 집단의 모델링은 교수자의 시범과 학습자의 모방 활동이 동시에 이뤄지는 특징을 가진다 [54, 67].

또한, 교수자는 스캐폴딩의 전 단계에 걸쳐 교정적 피드백, 지지적 피드백, 메타인지적 피드백의 세 가지 유형의 피드백을 학습자에게 제공한다 [54]. 교정적 피드백은 과제 수행의 과정에서 오류를 바로잡을 수 있도록 오류에 관해 설명해주는 활동으로 구성된다.

지지적 피드백은 학습자가 과제를 올바르게 수행하고 있는 점을 칭찬·격려하면서 학습자의 과제 수행을 지지하는 활동을 수행하는 피드백이다. 메타인지적 피드백은 학습자가 과제 수행 목표를 향한 진전도를 점검하고 평가하는 기회를 제공하는 피드백이다 [54].

교수자 유형별 피드백의 빈도를 살펴보면, 교사의 피드백이 또래 집단의 피드백보다 더 많았다 [54, 56]. 그리고 교사의 피드백은 학습자가 메타인지적 피드백과 교정적 피드백의 유형이 많았으며, 또래 집단의 피드백은 해결책을 바로 제시하는 유형으로 진행되는 것으로 나타났다 [54, 56].

이러한 교수자의 피드백은 학습자의 자기 효능감 향상에 긍정적인 영향을 미친다

두 번째, 2단계에서는 학습자가 스스로 도움을 받으면서 과제 수행을 하는 단계이다. 이 단계에서 학습자는 자기중심적 담화(self-directed speech)를 통하여 스스로 도움을 준다. 자기중심적 담화는 자기 안내(self-guidance)의 구실을 하게 된다 [54]. 2단계에서 학습자는 교수자의 도움 없이 과제를 수행하지만, 아직 완벽한 수준의 문제해결 능력을 보이지는 않는다 [54].

세 번째, 3단계에서는 학습자가 독립적으로 과제 수행을 올바르게 수행하는 단계로, 과제 해결 전략 및 방법에 대한 내면화, 자동화 과정이 이루어진다 [54]. 즉, 이 단계에서 학습자는 교수자의 도움 없이 과제를 스스로 수월하게 수행하는 모습을 보인다.

네 번째, 4단계에서는 특정 과제를 수월하게 완벽한 수준으로 수행하는 것이 가능하게 된 학습자가 자신의 수준으로 해결할 수 없는 새로운 과제에서 다른 ZPD를 시작하는 학습 활동이 이루어진다 [54]. 즉, 교수자의 도움에 의한 학습과 스스로 도움에 의한 학습을 통해 과제 수행을 위한 전략 및 방법이 내면화 및 자동화됨에 따라 특정 과제 수행 능력을 습득하게 되면 새로운 능력을 함양하기 위하여 다른 ZPD로 회귀하게 된다는 것이다.

이렇듯 학습은 연속적인 ZPD 활동으로 이루어지며, 스캐폴딩 과정에서 활동의 주체성은 교수자로부터 학습자로 옮겨가게 된다. 그리고 이 모든 과정은 교수자와 학습자 간 또는 학습자 스스로 수행하는 언어적 상호작용을 기반으로 이루어진다.

이상의 결과를 정리하면 이해를 돕기 위한 다양한 선택 제공을 위한 교육적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 학습할 개념의 이해를 돕기 위하여 제공되는 배경지식은 학습할 개념과 유사한 유목의 개념이나 학습 맥락과 유사한 경험상황에 대한 지식의 형태로 제공될 때 효과적인 학습 요소로 적용될 수 있다.

둘째, 학습자가 학습할 개념이나 사고에 대한 이해를 높이기 위해서는 설명과 질문과 같은 언어적 지원과 시범을 통한 모방 학습 활동과 교정적 피드백, 지지적 피드백, 메타인지적 피드백과 같은 즉각적 피드백이 중요하다고 할 수 있다.

표상의 원리와 관련된 인지 신경과학 연구

이 절에서는 표상의 원리와 관련된 인지심리학 연구 결과를 통해 도출한 주요 학습 요소와 관련된 인지신경과학 연구 결과를 종합하여 분석한 결과를 서술하였다.

지침 1. 인지 방법의 다양한 선택 제공

과제 수행에 미치는 인지 양식의 특성과 뇌 활성화

학생들은 같은 유형의 과제를 수행하더라도 다양한 수준의 수행 결과를 나타낸다. 이와 같은 결과는 과제를 수행하더라도 학생들은 자신이 선호하는 인지 양식을 통해 다른 패턴의 인지 사고를 수행하는 것에 영향을 받은 결과라고 할 수 있다. 이와 같은 이유로 CAST에서는 정보의 제시방식을 학습자의 인지 양식과 수준에 맞춰 제공하여야 한다고 안내하였다 [13].

인간의 인지적 행동이 다양한 인지 양식과 인지 수준에 영향을 받는다는 것은 뇌 과학 분야의 선행연구들로 증명이 된 바 있다.

Yang et al.(2010)은 다른 인지 양식을 가진 피험자가 관찰 활동을 수행할 때 뇌 내부에서 일어나는 인지 과정을 탐색하는 연구를 수행하였다 [58]. 이 연구에서 피험자는 전체적 특성을 보이는 과제와 부분적 특성을 보이는 과제를 수행하는 동안 뇌파측정을 경험하였다. 전체적인 특성을 가진 과제는 동시에 제공되는 복잡한 도형 2개의 공통점과 차이점을 관찰하고 판단하는 과제이고 분석적인 특성을 가진 과제는 동시에 제공되는 단순한 도형과 복잡한 도형을 관찰하여 복잡한 도형에 단순한 도형이 포함되는지를 판단하는 과제이다. 이들이 밝힌 연구 결과는 다음과 같다 [58].

첫째, 전체적 인지 양식을 가진 관찰자와 분석적 인지 양식을 가진 관찰자는 두 가지 패러다임 과제를 통한 관찰 활동을 수행할 때 나타나는 활성이 일어난 뇌 영역은 모두 후두엽과 측두엽이었다. 이와 같은 결과는 인지 양식이 다른 관찰자 집단이 관찰 활동을 수행하는 경우 과제의 특성보다는 자신의 인지 양식에 더 영향을 받는다고 할 수 있다.

둘째, 전체적 인지 양식을 가진 관찰자는 우측 후두엽 및 우측 측두엽 영역에서 시각 정보를 처리하였으며, 분석적 인지 양식을 가진 관찰자는 좌측 후두엽 및 좌측 측두엽에서 시각 정보를 처리하였다. 이와 같은 결과는 우반구가 시각 정보를 세부적으로 조직화한 후 구체적으로 처리하는 것과 관련이 있으며, 좌반구는 시각 정보를 의미화시킨 후 언어적이고 추상적 형태로 처리하는 것과 관련이 있다는 측면에서 전체적 인지 양식을 가진 관찰자는 시각 정보를 처리할 때 전체적인 구조를 이해하고 하향식 정보처리 과정을 통해 복잡한 정보를 세부적으로 조직화하여 처리한다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 반면, 분석적 인지 양식을 가진 관찰자는 개념 요소들 사이의 상호관계 의미를 파악한 후 의미를 결합하여 개념 구조를 추상적으로 점차 확장하는 상향식 정보처리 과정을 통해 시각 정보를 처리한다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

Oh(2016)는 행렬 추리 과정에서 발생하는 지적장애 학생과 일반 학생의 뇌 활성을 분석한 연구를 통해 행렬 추리 과정에서 지적장애 학생은 좌 두정엽에서, 일반 학생은 전두엽과 측두엽에서 높은 뇌 활성이 발생하였다고 밝혔다 [59]. 두정엽은 시각적 움직임 등과 같은 관찰 대상의 위치 및 공간 정보를 탐색하는 인지기능과 관련된 영역이고 [14,

15], 전두엽은 감각 정보의 2차 통합과 관련이 있으며 [14, 15], 측두엽은 장기기억 인출을 통한 대상 정보의 의미 파악하는 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다 [14, 15] 따라서 지적장애 학생은 탐색한 정보의 의미를 파악하는 과정 없이 시각적인 움직임과 같은 단순한 탐색 활동을 수행하였으며, 일반 학생은 장기기억 인출을 통한 탐색한 정보의 의미를 파악하고 탐색한 정보를 재조직하고 통합하는 과정을 통해 행렬 추리 과정을 수행하였다고 할 수 있다.

이상을 정리하면, 이 연구 결과는 과제의 특정보다는 인지 양식이 과제를 통한 행동 수준 및 행동 수행 패턴에 더 영향을 미친다는 것을 증명한다고 할 수 있다. 그리고 인지 수준에 따라 과제 행동 수준에 차이가 나타나며, 인지 수준이 낮은 학생들의 경우, 시각 정보의 의미를 파악하기 위한 추가적인 정보와 시각적 단서 제공이 필요하다는 것을 알 수 있다.

전체 및 부분과제에 의한 시각 정보 인식 과정과 뇌 활성화

학습 상황에서 제공되는 자료는 대부분 시각 정보로 구성되어 있다. 인간이 시각 정보를 인지하고 처리하는 과정은 배측 경로와 복측 경로와 같은 두 가지 시각 정보 처리 과정으로 구분된다 [15, 30]. 여기서 배측 경로는 후두엽의 1차 시각영역과 두정엽이 연합한 네트워크로 구성되며, 대상 또는 현상의 움직임과 빠르기, 현상에서 특정 대상들의 공간적 관계 인지 등과 같은 위치 및 공간 정보를 생성하는 ‘Where pathway’를 말한다 [14, 15]. 그리고 복측 경로는 후두엽의 1차 시각영역과 후두엽이 연합한 네트워크로 대상 또는 현상의 형태, 색깔, 대상의 표면 패턴, 대상 또는 현상의 정체 등과 같은 대상 또는 현상의 형태적 특성을 파악하는 ‘What pathway’를 말한다 [14, 15]. 여기서 전체관찰 과정에서는 대상 또는 현상의 전체적인 특성에 관한 정보의 의미를 탐색하는 시각 정보 처리 과정인 ‘What pathway’가 관여한다 [30]. 반면, 부분관찰 과정에서는 특정 부분에 형태적 특성을 파악하여야 하므로 파악하려는 부분의 위치 정보와 파악하려는 부분의 형태적 특성에 관한 정보의 의미를 파악한 후 관련 정보의 통합이 이루어져야 한다 [30]. 따라서, 부분관찰에 의한 정보 파악에는 ‘What pathway’와 ‘Where pathway’의 두 가지 시각 정보 처리 과정 모두가 관여하게 된다 [30].

즉, 전체관찰에 의한 정보 파악을 위해서는 단일 시각 정보처리 과정이, 부분관찰에 의한 정보 파악을 위해서는 두 가지 시각 정보 처리 과정이 관여한다고 할 수 있다. 이는 전체관찰보다 부분관찰을 수행할 때 더 많은 인지 처리 과정이 필요하다고 할 수 있다.

한편, 과제 전반에 대한 개괄적 내용을 파악한 후 학습을 진행하는 전체과제 학습과 전체과제를 구성하는 각 부분요소의 반복적 학습을 진행하는 부분과제 학습 시 발생하는 뇌 활성화 차이를 비교·분석한 연구는 아직 진행된 바가 없다. 인지심리학 연구 결과에 의하면 전체과제 학습수행을 위해서는 전체적인 맥락의 이해가 필수적으로 필요하므로 학습자의 높은 수준의 사전인지기능을 요구한다 [37]. 하지만 부분과제 학습수행에서는 전체적인 맥락에 대한 이해 없이 해당 과제의 반복적인 연습을 수행하기 때문에 학습자의 높은 수준의 사전인지기능을 요구하지 않는다 [37]. 따라서, 인지심리학 연구에서는 인지 수준이 높은 학습자에게는 전체과제학습을 통한 전체적인 맥락을 파악하도록 하는 것이 효과적이고, 인

지 수준이 낮은 학습자에게는 부분과제학습을 한 후 전체과제 학습을 하도록 하여 전체적인 맥락을 파악하도록 하는 것이 효과적이라고 하였다.

이와 같은 결과는 같은 맥락의 연구는 아니지만, Choi, Shin, & Shin (2012)이 수행한 분류 과제 수행에서 나타난 초등과학영재 학생과 일반 학생의 안구 운동 패턴 차이 분석 연구 [61]를 통해 간접적 추론이 가능하다. Choi, Shin, & Shin (2012)는 연구를 통해 초등과학영재 학생은 문제 파악을 위해 문제 지문에 시선을 적은 시간 고정하였지만, 일반 학생은 문제 지문에 시선이 고정되는 시간이 상대적으로 많이 길었다고 말하였다 [61]. 이와 같은 결과는 초등과학영재 학생은 문제의 핵심 맥락을 빠르게 파악한 후 분류 활동을 수행하였지만, 일반 학생은 문제의 핵심을 파악하는 데 어려움을 나타냈다. 즉, 초등과학영재 학생들의 문제 핵심 파악 수준이 일반 학생들보다 우수하다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

그리고 과학영재들은 문제를 읽을 때 시선이 띄엄띄엄 고정되었고, 특히, ‘분류 기준’이라는 핵심 용어에서 응시한 시간이 길었다. 하지만, 일반 학생들은 문제 읽기의 시선 고정이 과학영재보다 많이 이루어졌으며, ‘따라’, ‘한다’ 등과 같은 비핵심 용어를 응시한 시간이 길었다 [61]. 이는 문제의 맥락을 파악할 때 과학영재들은 효율적인 시선 이동이 이루어졌음을 말해준다고 할 수 있다.

또한, 영재 학생들은 관찰 대상을 지정하는 기호보다는 관찰 대상에 시선이 머무른 시간이 길었다 [61]. 반면, 일반 학생들은 기호와 관찰 대상에 동시에 시선이 머무르는 결과를 나타냈다 [61]. 이는 분류 대상의 특성을 파악하는 과정에서 효율적인 관찰이 이루어졌음을 나타내고 일반 학생들은 비효율적인 관찰을 수행하였음을 나타내는 결과라고 할 수 있다. 즉, 영재 학생들은 불필요한 인지 과부하를 줄이면서 분류 과제를 수행하였다고 할 수 있다.

이와 같은 결과를 정리하면, 과학영재 학생들은 문제 인식, 항목 관찰 단계, 분류 기준 생성까지의 불필요한 인지 과부하를 최소화하여 효율적으로 과제의 맥락을 파악한 후 과제를 효율적으로 수행하였다. 하지만 일반 학생들은 문제 인식을 위한 핵심적인 정보를 파악에 어려움으로 나타내기 때문에 문제 인식을 위한 효율적인 정보 검색과 과제 수행에 많은 인지적 부담을 나타냈다. 다시 말해 일반 학생과 비교하여 과학영재 학생들은 문제 인식과 과제 수행 과정에서 신경 효율성이 상대적으로 높았다고 할 수 있다.

앞서 언급한 인지적 수준이 다른 학생들이 과제 맥락을 파악한 후 학습을 진행하는 전체과제 학습과 전체과제를 구성하는 각 부분요소의 반복적 학습을 진행하는 부분과제 학습 시 교육적 시사점은 다음과 같다.

문제의 맥락을 파악하여 문제를 인식하고 과제를 수행하는 과정에서 인지적 수준이 높은 학생들은 효율적으로 정보를 처리하면서 과제를 수행하지만, 일반 학생들은 인지 부담을 느끼면서 집중력 측면에서까지 나쁜 지표를 나타낸다. 따라서, 인지 수준이 높은 학생에게는 전체과제 학습을, 인지 수준이 낮은 학생에게는 부분과제 학습을 제공하는 것이 신경 효율성 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

시각 및 언어 정보 선호도에 따라 관련 유형의 정보 제공하기

Kim & Jeong(2010)은 청각장애 대학생과 일반 대학생이 분류 및 가설생성 과제를 수행할 때 발생하는 뇌파 활성 차이를 비교·분석한 연구를 진행하였다 [62].

청각장애 대학생은 청각을 통해 정보를 습득하는 것이 어려우므로 정보를 습득할 때 시각에 의존하는 경향이 크다 [62]. 실제로 청각장애 학생들은 일반 학생들보다 시공간적 정보 구성 측면에서 긍정적인 지표를 나타내고 있다 [62].

분류 과제를 수행할 때는 청각장애 학생들이 일반 학생들보다 전두엽, 측두엽, 후두엽에서 상대적으로 더 높은 베타파의 활성이 보였으며 [62], 일반 학생들은 청각장애 학생들보다 전두엽에서 더 높은 세타파의 활성을 나타냈다 [62].

그리고 가설생성 과제를 수행할 때, 일반 학생들은 청각장애 학생들보다 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 더 높은 세타파 활성을, 두정엽과 후두엽에서 더 높은 감마파 활성을 나타냈다 [62].

세타파가 뇌 내부 정보를 활용하여 사고하는 데 집중하는 수준이 높을수록 활성이 증가하는 특성을 가진 뇌파이고 [65], 베타파는 뇌 외부 정보를 활발히 받아들이면서 사고하는 데 집중하여 각성하는 수준이 높아질수록 활성이 증가하는 뇌파이다 [65]. 감마파는 추상적 정보를 통합하는데 전력을 다할 때 발생하는 뇌파이다 [65].

전두엽은 추상적 감각 정보의 2차 통합과 필요한 정보에 대한 선택적 주의집중 등의 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다 [14, 15]. 두정엽은 시각적 작업기억과 위치 및 공간 정보 탐색 [14, 15], 측두엽은 장기기억 인출을 통한 대상의 형태적 의미 부여와 대상의 의미 부여를 위한 자세한 관찰 등과 같은 인지기능과 연관 있는 뇌 영역이다 [14, 15]. 마지막으로 후두엽은 시각 정보를 인지할 때 활성화되는 뇌 영역이다 [14, 15].

이와 같은 뇌파의 활성 특성과 뇌 영역별 연관된 인지기능을 통해 Kim & Jeong(2010)의 연구 [62]를 통해 나타난 청각장애 학생과 일반 학생이 분류 과제와 가설생성 과제 수행 시 뇌 활성 양상을 살펴본 결과는 다음과 같다.

첫째, 과제 수행 시 시각 정보 탐색 및 분석이 중요한 분류 과제를 수행할 때 청각장애 학생들은 일반 학생들과 비교하여 추상적 감각 정보의 2차 통합, 과제 수행을 위하여 필요한 정보에 대한 선택적 주의집중, 대상의 형태적 특성 파악, 시각 정보 인지의 과정에서 뇌 외부 정보 기반의 사고에 더 집중하였다는 것을 말해준다.

둘째, 분류 과제를 수행할 때 일반 학생들은 청각장애 학생들과 비교하여 추상적 감각 정보의 2차 통합, 과제 수행을 위하여 필요한 정보를 선택하여 주의집중하는 과정에서 뇌 내부 정보 기반으로 사고하는 수준이 높았다는 것을 말해준다.

셋째, 언어적 정보처리가 중요한 가설생성 과제를 수행할 때 일반 학생들은 청각장애 학생들과 비교하여 추상적 감각 정보의 2차 통합, 과제 수행을 위해 필수적인 정보에 대한 선택적 주의집중, 대상의 형태적 및 부분적 특성 파악의 과정에서 뇌 내부 정보 기반의 사고의 수준이 더 높았다는 것을 말해준다.

넷째, 가설생성 과제를 수행할 때 일반 학생들은 청각장애 학생들과 비교하여 대상의 위치 및 부분적 정보탐색의 과정에 전력으로 집중하였다는 것을 말해준다.

이상의 연구 결과는 청각장애 학생들은 일반 학생들보다 뇌 외부의 시각 정보를 파악하는 과정에 있어서 유리하며, 일반 학생들은 청각장애 학생들보다 뇌 내부 정보 기반의 언어적 정보처리 측면에서 유리하다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 또한, 언어 정보처리 시 뇌 내부 기반의 정보처리 과정이 수행되는 것에 따라 언어 정보처리는 일정 수준 이상의 인지 수준을 요구하는 인지 과정이라고 할 수 있다.

이상의 연구 결과를 종합하면, 시각 정보 처리에 유리한 학습자에게는 시각을 활용하여 파악하는 학습과제와 시각적 단서 제공에 의한 학습이 중요하다고 할 수 있다.

지침 2. 언어와 기호의 다양한 선택 제공

다양한 매체의 특성에 따른 뇌 활성화

학습 자료 특성에 따른 뇌 활성화. 다양한 학습 자료의 유형에 따른 발생하는 뇌 활성화 연구는 학습 자료의 유형을 실물, 컬러사진, 흑백사진, 선으로만 구성된 그림의 유형으로 구분하여 진행되었다.

Choi(2015)는 학생들이 실물 암석과 암석 사진을 통해 관찰 활동을 수행할 때 발생하는 뇌 활성화 차이를 비교 분석하였다 [63]. Choi(2015)는 암석 사진에 의한 관찰 활동을 수행할 때와 비교하여 암석 실물에 의한 관찰을 할 때 알파파의 활성화의 차이가 가는 뇌 영역으로 변연엽(Limbic Lobe)의 전대상회(Anterior Cingulate Cortex, 이하 ACC), 전두엽의 내측전두이랑(Medial Frontal Gyrus, 이하 MFG)과 상전두이랑(Superior Frontal Gyrus, 이하 SFG)을 말하였다 [63].

알파파는 정신적으로 이완된 상태와 장기기억 형태로 저장된 정보를 기반으로 사고하는 하향식 정보처리 과정 동안 활성화가 증가하는 특성을 가진 뇌파이다 [30, 65]. 그리고 ACC는 과제 해결을 위하여 주의집중을 할 때 활성화가 발생하고 주의를 끌지 못하는 자극이 제시되었을 때는 활성화 되지 않은 특성을 나타내는 뇌 영역이다 [14, 15, 30]. 또한, MFG는 위치 및 공간 정보의 저장이 이루어질 때 활성화가 일어나는 뇌 영역이며 [14, 15, 30], SFG는 위치 및 공간 정보의 작업기억 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다 [14, 15, 30].

암석 관찰 활동이 사진 자료보다 실물 자료를 통해 이루어질 때 정신적으로 좀 더 편안한 상태에서 하향식 정보처리 과정을 통해 좀 더 다양한 속성에 선택적 주의집중을 하였다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 그리고 사진 자료 기반 관찰 활동보다 실물 자료 기반 관찰 활동 시 위치 및 공간 정보의 저장과 그 정보에 대한 기억의 유지 측면에서 정서적으로 긍정적인 반응을 보였다고 할 수 있다. 즉, 사진 자료 보다 실물 자료를 활용한 학습 활동 시 더 다양한 속성에 대한 주의집중이 가능하며, 이 사고는 장기기억 상태로 저장된 정보 기반의 사고인 하향식 사고를 통해 이루어진다는 것을 말해준다.

교육 현장에서는 사진 자료를 종이에 프린트하거나 파워포인트 자료 형태로 제시한다는 측면에서 사진 자료를 컬러사진, 흑백사진, 선으로만 구성된 그림의 유형으로 세분화하여 진행한 뇌 활성화 기반 연구도 있었다.

Kim(2013)은 영재 학생, 일반 학생, 특수교육대상 학생들이 컬러사진 관찰 활동 과제(Real Picture Task, 이하 RP Task), 흑백사진 관찰 활동 과제(Gray Picture Task, 이하 GP Task), 선으로 구성된 그림 자료 관찰 활동 과제(Line Drawing Task, 이하 LD Task)를 수행할 때 나타나는 뇌 활성화 양상을 비교 분석하였다 [64].

영재 학생들은 모든 유형의 Task 수행 시 후두엽에서 활성화가 시작된 후 변연계 중 후대상이랑 영역에서의 활성화가 이어졌다 [64]. 하지만, 과제 유형마다 후두엽에서 변연계로 이동하는 경로에서 차이가 있었다. RP Task에서는 후두엽 → 좌측 측두엽 → 변연계의 후대

상이랑과 같은 활성 패턴이, GP Task에서는 후두엽 → 우측 측두엽 → 변연계의 후대상이랑과 같은 활성 패턴이, LD Task에서는 후두엽 → 좌측 측두엽 → 후두엽 → 변연계의 후대상이랑과 같은 활성 패턴이 나타났다 [64].

일반 학생들의 경우, RP Task에서는 후두엽 → 좌측 및 우측 측두엽 → 변연계의 후대상이랑 활성 패턴이, GP Task에서는 후두엽 → 좌측 측두엽 → 후두엽 → 피질하영역 활성 패턴이, LD Task에서는 후두엽 → 우측 두정엽 → 후두엽 → 피질하영역 활성 패턴이 나타났다 [64].

특수교육대상 학생들의 경우, RP Task에서는 후두엽 → 우측 측두엽 → 후두엽의 활성 패턴이, GP Task와 LD Task에서는 후두엽에서만 활성이 나타났다 [64].

후두엽은 구체적인 시각 정보 수집의 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이고 측두엽은 장기기억과 연관된 뇌 영역으로 이전 유사 경험에 관한 일화적 및 의미기억을 통해 현 관찰 요소의 의미를 파악하는 인지기능을 수행한다 [14, 15, 30]. 두정엽은 후두엽과 연합으로 대상 또는 현상의 움직임이나 위치 및 공간 정보를 탐색할 때 활성이 일어나는 뇌 영역이다 [14, 15, 30]. 또한, 후대상이랑은 반성적 사고와 관련이 깊은 뇌 영역이고 피질하 영역은 공포 등과 같이 자극에 대한 부정적 감성 유발과 연관된 뇌 영역이다 [14, 15, 30].

위의 연구 결과를 종합하면, 학습 자료는 실물 자료가 학생들의 정서적인 반응, 좀 더 다양한 대상의 속성 탐색, 작업기억 유지 측면에서 가장 인지적으로 긍정적인 반응을 유도할 수 있다고 할 수 있다. 그리고 컬러사진, 흑백사진, 선으로만 구성된 그림 자료로 갈수록 학생들은 대상이나 현상에 대한 정보를 구체적으로 파악하거나 이해하는 데에 있어서 더 어려움을 느낀다는 것을 알 수 있다. 따라서 실물 자료를 통하여 관찰 기능을 습득하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 그 효과는 컬러사진 → 흑백사진 → 선으로만 구성된 그림으로 갈수록 낮아진다고 할 수 있다. 특히, 특수교육대상 학생들의 효율적 관찰 학습을 위해서는 학습 시작 전과 학습 활동 수행 시 학습 과정에 대한 교사의 자세한 설명과 단서 제시가 필요하다고 할 수 있다.

지침 3. 이해를 돕기 위한 다양한 선택 제공

배경지식 제공에 의한 학습 시 뇌 활성 변화

Kim, Jeong, & Park(2019)는 뇌파 활성을 통해 배경지식 제공이 가설 학습 능력 성취 수준이 다른 학생들의 가설생성 및 수용에 미치는 영향을 분석한 연구를 진행하였다 [66].

가설생성 시 세타파의 활성은 배경지식이 제공되지 않는 과제를 수행할 때와 비교하여 배경지식이 제공되는 과제를 수행할 때 상위 집단 학생은 전두엽 > 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서, 하위 집단 학생은 후두엽 > 측두엽 > 후두엽에서 활성이 높은 경향이 나타났다. 알파파의 경우 상위 집단 학생은 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서, 하위 집단 학생은 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서 활성이 높은 경향을 보였다 [66].

가설 수용 시 세타파의 활성은 배경지식이 제공되지 않는 과제를 수행할 때와 비교해 배경지식이 제공되는 과제를 수행할 때 상위 집단 학생은 측두엽에서, 하위 집단 학생은 측두엽 > 후두엽 > 두정엽 > 전두엽에서, 하위 집단 학생은 전두엽 > 후두엽 > 측두엽 > 두

정엽에서 뇌 활성이 유의미하게 높았다. 알파파의 경우 상위 집단 학생은 후두엽을 제외한 모든 영역에서 활성이 낮았으며, 하위 집단 학생은 후두엽에서는 높은 활성이 나타났고 전두엽과 두정엽에서는 낮은 활성을 보였다 [66].

전두엽은 문제해결을 위한 활동 계획 수립, 필수 정보에 대한 기억 유지, 대상 요소 비교-판단-최종 정보선택과 같은 인지적 기능과 연관이 되어있는 것으로 알려져 있다 [14, 15]. 측두엽은 후두엽과 연합하여 대상의 형태적 정보를 생성하는 시각 정보처리 과정인 ‘What pathway’ 와 대상에 의미를 부여하기 위한 장기기억 인출과 같은 인지기능과 관련이 되어있다 [15, 30]. 두정엽은 후두엽과 연합하여 대상 현상의 위치 및 공간 정보를 생성하는 시각 정보처리 과정(Where pathway)에 관여하고 시각적 작업기억 등과 같은 인지기능과도 관련이 되어있다 [15, 30]. 마지막으로 후두엽은 시각 정보를 인지와 관련 있는 영역으로 알려져 있다 [15].

세타파의 활성은 과제에 대한 사고와 주의집중의 수준, 뇌 내부 정보 활용에 의한 새로운 정보의 부호화 사고 과정과 관련이 되어있는 것으로 알려져 있다 [65]. 그리고 알파파는 뇌 내부 정보를 활용하여 사고를 수행하는 하향식 정보처리 과정 동안 동조화가 증가하는 경향과 정신적으로 이완된 상태에서 발생하는 특성을 가지는 것으로 알려져 있다 [65].

Kim, Jeong, Park(2019)의 연구를 통해 나타난 뇌 활성 양상을 뇌 영역별 인지기능과 세타파 및 알파파의 활성 특성을 바탕으로 살펴본 결과는 다음과 같다.

상위 집단 학생들의 경우 배경지식이 제공됨에 따라 가설생성 과정인 의문 상황 분석에 의한 변인추출 및 의미 파악→변인과 맥락상 유사한 경험상황 및 원인적 설명자에 대한 기억 표상→의문 현상과 맥락상 알맞은 경험상황 및 원인적 설명자 선택→원인적 설명자 차용에 의한 가설적 설명자 생성의 과정에 대한 사고 및 집중의 수준이 높아졌다고 할 수 있다. 하위 집단 학생의 경우 가설생성 과정 중 의문 상황 분석에 의한 변인추출 및 의미 파악과 변인과 맥락상 유사한 경험상황 및 원인적 설명자에 대한 기억 표상의 사고 과정에 대한 사고 및 주의집중 수준이 높아졌다고 할 수 있다.

배경지식의 제공으로 인하여 두 집단 학생들 모두 가설생성 과정 중 의문 현상의 변인추출 및 의미 파악을 위하여 의문 현상을 구성하는 대상 요소의 형태적 및 위치·공간적 추상 정보 파악, 변인과 유사한 맥락의 경험상황 및 원인적 설명자 선택의 사고 과정에 대한 인지적 부하가 줄어들어 정신적인 안정감을 가지게 되었다는 것을 의미한다. 배경지식 제공은 학생들이 지식을 수용하기 위해 의문 현상 변인 요소를 추출하고 의미를 파악하기 위해 대상에 형태적 세부 특성을 파악하는 사고 과정과 의문 현상과 의문 현상을 설명하는 글의 내용을 의미에 따라 연결하여 최종 수용할 정보에 관한 시각적 추상 정보를 부호화하는 과정에 관한 사고 및 주의집중 수준 측면에서 긍정적인 변화를 일으켰다고 할 수 있다.

배경지식 제공으로 인하여 상위 집단 학생들이 현상에 관한 변인 요소의 의미를 파악하기 위해 형태적 세부 특성과 위치·공간 정보를 탐색하고 변인의 의미와 글 내용을 의미에 따라 연결하여 최종적으로 수용할 지식에 관한 시각적 추상 정보를 통합하여 표상하는 사고 과정을 수행할 때 긍정적인 정신적 긴장이 유발되었다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

스캐폴딩 제공에 의한 학습 시 뇌 과학적 이해

Lee(2018)는 스캐폴딩과 뇌 과학 관련 문헌 및 선행연구 결과를 종합 분석하여 스캐폴딩 과정에서 이루어지는 교수자와 학습자의 행동 특성을 뇌 과학 연구 증거 기반으로 설명한 연구를 진행하였다 [54]. Lee(2018)는 연구를 통해 스캐폴딩 과정에서 교수자와 학습자의 행동 특성 및 두 집단 간 상호작용 관련 뇌 과학적 기제를 다음과 같이 정리하였다 [54].

첫째, 스캐폴딩 과정에서 이루어지는 교수자의 ‘설명 및 질문’, ‘언어를 통한 시범’은 학습자의 학습과 관련된 신경세포를 활성을 유발하는 신경 자극으로 작용하여 장기기억 형성에 효과적이다. 그리고 신경 연결망을 확장하는 데 긍정적인 영향을 미쳐 학습자가 좀 더 높은 수준의 사고를 수행하는 것을 가능하게 해준다.

둘째, 교수자의 ‘모델링’을 통한 학습은 학습자에게 과제 해결을 위하여 무엇을 어떻게 하는지에 대한 지식인 절차적 지식을 보여주는 활동에 의한 학습을 말한다. 절차적 지식과 관련 있는 뇌 영역은 대뇌의 기저핵과 소뇌로 알려져 있다. 또한, 교수자의 설명과 질문 같은 언어적 지원과 모델링을 통한 학습과 자신의 도움을 받아 수행하는 반복적 학습을 통해 이루어지는 과제 수행을 위한 전략 및 지식의 내면화 및 자동화 역시 기저핵과 소뇌의 활동과 연관이 있다.

기저핵은 행동 프로그래밍과 종료, 기능이나 습관의 학습, 무의식적 인지작용의 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다 [14, 15]. 또한, 기저핵은 그리고 소뇌는 언어적 작업기억(verbal working memory)을 요구하는 과제 즉, 언어적 전략에 대한 기억을 머릿속으로 기억하고 있어야 하는 과제 수행 시 활성이 발견되는 뇌 영역이다 [67, 68]. 또한, 소뇌는 절차적 지식의 습득, 시간적 순서가 존재하는 과제 수행이나 시간적 순서에 따른 결정(sequential decision) [67], 불명확한 상황에서 잠정적인 설명을 하는 과정과 같은 인지기능과도 관련이 있다 [67, 69].

즉, 교수자의 모델링을 통한 학습을 통해 학습자는 기저핵과 소뇌에서 활성이 이루어지며, 이를 통해 과제 수행을 위한 기능, 시간적 순서에 의한 행동 결정 등과 같은 절차적 지식, 무의식적 인지 과정, 교수자의 모델링 과정에서의 언어적 설명에 대한 기억을 과제 수행 동안 유지하는 언어적 작업기억과 같은 인지기능 측면에서 긍정적인 영향을 받는 경험을 한다고 할 수 있다.

선행연구에 따르면 교수자의 모델링을 통한 학습자의 ‘모방 학습’은 거울 뉴런시스템(mirror neuron system)과 배외측 전전두피질에서의 뇌 활성을 기반으로 이루어진다 [15]. 거울 뉴런 신경 시스템은 목적 지향적 행동에 따라 활성이 이루어지는 뇌 영역이다 [15].

따라서 학습자의 모방 학습을 유발하기 위하여 교수자가 모델링을 제공할 경우 학습자가 교수자 행위의 의도를 파악하고, 목적을 기반으로 교수자의 행위를 분석하게 하며, 자신의 행동 계획을 구상하고 실행하는 것을 도와주는 것이 중요하다고 할 수 있다. 즉, 교수자의 모델링에서는 행위의 의도와 행위를 학습자가 쉽게 파악하도록 유도하기 위하여 구체적인 행위와 설명이 동시에 진행되는 것이 학습자의 효율적인 학습을 위해 중요한 요소라고 할 수 있다.

셋째, 교수자의 피드백 과정은 지시적 피드백, 지지적 피드백, 메타인지적 피드백으로 이루어진다.

피드백에 관련된 교육적 시사점은 절차적 지식과 관련된 뇌 영역인 기저핵(basal ganglia)과 소뇌(cerebellum), 정서와 연관 있는 뇌 영역인 변연계(limbic system), 각성의 수준을 조

절하는 것으로 알려진 뇌 영역인 망상체(reticular formation)에서의 뇌 활성화 특성을 통해 파악할 수 있다.

기저핵의 하위 구조물로 알려진 미상핵(caudate nucleus)은 강화학습에 관한 연구에서 활성화 특성이 다루어져 왔다 [67]. 미상핵은 행동 관련 정보처리 인지기능에 관여하는 뇌 영역으로 밝혀졌다. 소뇌는 절차적 지식 학습, 시간적 절차가 있는 과제 수행 관련 인지기능과 관련된 뇌 영역이다 [14, 15, 67].

Kim & Kang(2017)에 의하면 행위의 결과를 구체적으로 밝히는 형태의 피드백이 제공될 때는 미상핵에서, 단서 자극에 따른 목표 반응을 유지 또는 수정하는 것과 관련된 정보를 포함하는 학습 피드백 제공 시 소뇌에서 활성이 증가함을 관찰하였다 [71]. 또한, 이들은 학습 상황에서 자신의 오류를 점검하기 위한 모니터링을 제공하는 학습-처벌 피드백을 제공할 경우 배외측 전전두피질(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)과 배내측 전전두피질(Dorsomedial Prefrontal Cortex, DMPFC) 등의 영역에서 활성이 증가한다고 밝혔다 [71].

배외측 전전두피질은 작업기억, 지속적 주의집중 등의 인지기능과 연관 있는 뇌 영역이고, 배내측 전전두피질은 오류처리의 인지기능과 관련된 뇌 영역이다 [71].

배외측 전전두피질과 배내측 전전두피질과 관련된 인지기능을 바탕으로 Kim & Kang(2017)의 연구에서 나타난 뇌 활성화 양상을 파악하면, 행위의 결과를 구체적으로 설명하는 지시적 피드백과 자신의 학습과제 수행 상황을 점검하는 반성적 사고를 유발하는 메타인지적 피드백을 제공하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

칭찬과 격려와 관련된 피드백은 세로토닌, 도파민, 코르티솔 등과 같은 신경전달물질의 발생과 관련지어 그 의미를 살필 수 있다.

Cho & Lee(2001)와 Kim & Cho(2017)는 학습자가 과제 수행과 관련하여 성공적인 경험을 가지게 되는 것에 의해 학습자의 뇌에서 세로토닌이 전두엽에서 대량 분비된다고 밝혔다 [72, 73]. 세로토닌은 신경전달물질로써 적절하게 분비되는 것이 학습자의 행복감을 높여주고 학습에 적극성을 띠게 하는 것으로 알려졌다 [72-74]. 도파민 역시 적절한 수준 이상으로 분비될 경우, 학습자의 학습에 대한 자신감을 높여주고, 인지적 활동의 적극성 및 효율성도 증가하는 결과에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다 [72-74]. 이와 같은 도파민의 활성을 기반으로 Kim & Cho(2017)는 도파민의 활성을 유발하기 위해서는 학습자의 과제 수행의 수준이 나쁘더라도 교사가 학습자에게 긍정적으로 성공을 예언하는 발언을 반복적으로 제공할 경우 학습자의 뇌에서 도파민의 분비가 촉진되는 것으로 나타난다고 밝혔다 [73].

또한, 교사의 부정적인 언어를 반복하여 들은 학습자의 경우 스트레스를 유발하는 신경전달물질로 알려진 코르티솔의 분비를 하게 된다 [72, 73]. 코르티솔은 뇌피질의 활성을 방해하여 낮은 수준의 학습 능력을 일으키고 이는 자기 효능감에 악영향을 미치게 된다 [72, 73].

이상을 정리하면, 교수자가 학생에게 피드백을 제공할 때, 과제 수행을 위한 단서와 절차에 대한 구체적인 단서와 설명을 제공하는 지시적 피드백, 학습자의 과제 수행의 진전 수준과 수행 행동 과정에 초점을 맞추는 과정 중심의 격려를 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행 수준이 나쁘더라도 학습자가 과제를 성공적으로 수행하리라는 것을 예언하는 방식으로 제공하는 지지적 피드백, 과제 수행 과정을 점검하게 하는 메타인지적 피드백을 제공하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

뇌 기반 표상의 원리 교수 전략

앞서 살펴본 표상의 원리에 관한 인지심리학 및 인지 신경과학 기반 연구성과물들을 기반으로 정리한 뇌 기반 표상의 원리 교수 전략은 다음과 같다.

지침 1. 인지 방법의 다양한 선택 제공

첫 번째 지침은 학생들이 선호하는 인지 양식을 고려하여 그들이 선호하는 방식에 의해 정보를 인식할 수 있도록 돕는 다양한 기회를 제공하는 것이다. 즉, 정보를 다양한 방식으로 제시하여 학생들이 정보를 효율적으로 이해하고 과제의 맥락을 효과적으로 파악할 수 있도록 도우며, 과제를 효율적으로 수행할 수 있도록 돕는 것의 목적이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 1에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

첫째, 전체적인 문제해결을 요구하는 과제에서는 전체적인 맥락을 파악할 수 있도록 완성된 결과물과 제시된 부분과제를 제시

둘째, 시각형 인지 양식을 가진 학습자에게는 비언어적 형태의 시각 정보를 먼저, 언어형 인지 양식을 가진 학습자에게는 언어적 형태의 언어 정보를 먼저 제시

셋째, 인지 수준이 낮은 학습자에게는 복잡한 과제를 단순화된 여러 단계의 과제 제시

다섯째, 인지 수준이 낮은 학습자를 위하여 부분과제에 대한 반복적 연습을 통한 충분한 이해 후 전체과제 학습

지침 2. 언어와 기호의 다양한 선택 제공

두 번째 지침은 학생들이 정보 및 과제 활동의 의미를 파악하는 것을 돕는 것과 관련된 지침이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 2에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

첫째, 중요한 문구나 용어를 강조하기 위해 글자의 크기를 크게 하거나 굵기를 굵게 조절

둘째, 텍스트 정보와 그림 자료 정보의 관계를 연결선 등과 시각적 단서로 안내

셋째, 텍스트 정보나 그림 자료 정보는 특징적이거나 핵심적인 정보만 함축적으로 표현된 짧은 길이의 텍스트 형태로 제공

넷째, 학습 자료는 실물 또는 모형 → 컬러사진 → 흑백사진 → 선으로만 구성된 그림의 순서대로 제시

다섯째, 낮은 인지 수준의 학습자를 위하여 학습 시작 전과 학습 활동 수행 시 학습 과정에 대한 교사의 자세한 설명과 단서 제시

지침 3. 이해를 돕기 위한 다양한 선택 제공

세 번째 지침은 학생들이 정보 및 과제 활동의 의미를 효율적으로 이해하는 것을 돕기 위해 다양한 매체와 전략을 활용하는 것에 관한 내용과 관련된 지침이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 3에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

첫째, 사전지식 및 배경지식을 활용한 수업을 진행할 때는 학습할 개념과 유사한 요목의 개념 및 용어, 학습할 개념과 유사한 맥락의 현상과 현상 관련 개념 및 용어의 제시

둘째, 학습자가 개념이나 사고에 대한 이해를 높이기 위해서 질문과 설명과 같은 구체적인 언어적 지시

셋째, 교수자 행위의 의도 파악하고 교수자 행위 분석하도록 하는 것을 돕기 위한 교수자 행위 목적, 절차 등과 관련된 자세한 설명을 포함하는 교수자의 시범을 통한 모방 학습 활동, 학습 활동 간 질문, 언어적 상호작용 제공

넷째, 과제 수행을 위한 단서와 절차에 대한 구체적인 단서와 설명을 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행의 진전 수준과 수행 행동 과정에 초점을 맞추는 과정 중심의 격려를 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행 수준이 나쁘더라도 학습자가 과제를 성공적으로 수행하리라는 것을 예언하는 방식으로 제공하는 지지적 피드백, 과제 수행 과정을 점진하게 하는 메타인지적 피드백 제공

결론 및 제언

본 연구의 결과를 선행연구 결과에 비추어 그 의의를 살펴본 결과는 다음과 같다.

우선 본 연구는 다양한 인지적, 학습 특성 배경을 가짐에 따라 다양한 교육적 요구를 배려하는 학습의 필요성이 증가하는 교육 환경의 흐름에 발맞춰 제기된 UDL의 교육 현장 적용을 위하여 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과물들을 종합 분석한 결과를 기반으로 하는 UDL 표상의 원리 교수-학습 전략 및 방법을 제시하였다. Kim, Kim, & Woo(2016)에 의하면 다양한 교과 영역에서 UDL을 적용한 교수학습프로그램 개발 및 적용 연구가 진행되었음에도, UDL 원리와 지침에 대한 구체적인 방법이나 전략에 대한 정보가 제시되지 않음에 따라 실제 교육 현장에서 교육적 활용이 이루어지지 않음을 지적하였다. 또한, 이러한 제한점을 극복할 수 있는 효과적 교육 방법이나 전략이 연구되고 제시되어야 함을 강조하였다. 이에 본 연구는 UDL 원리 중 표상의 원리와 지침에 대한 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과를 종합 분석하여 표상의 원리와 지침을 적용한 효과적인 방법을 제시한 것으로 의의가 있다고 할 수 있다.

다음으로 UDL 원리와 지침에 관한 연구 결과를 선행연구와 관련지어 논의한 결과는 다음과 같다.

첫째, UDL 표상의 원리는 인지적 네트워크를 배경이론으로 하여 제안되었다. 이 인지적 네트워크는 정보를 보고 의미를 부여하여 최종적으로 정보를 이해하는 기능을 수행하는 네트워크를 말한다. 인지 신경과학에서는 시각 정보를 처리하는 과정을 다음과 같이 설명한다. 후두엽의 1차 시각피질에서 시각 정보를 인지한 후 두정엽으로 이어지는 배측 경로를

통해 대상 또는 현상의 위치 및 공간 정보를 생성하고 측두엽으로 이어지는 복측 경로를 통해 대상의 형태적 세부 특성을 파악한다. 이 두 가지 경로를 통해서 파악한 정보는 전두엽의 전전두피질에서 추상적 시각 정보를 통합하여 지식을 최종적으로 생성하게 된다. 따라서 인지적 네트워크는 후두엽 → 복측 경로, 배측 경로 → 전두엽의 전전두피질로 이어지는 시각 정보 처리 경로로 설명되는 네트워크라고 할 수 있다. 즉, 표상의 원리와 관련 있는 뇌 영역은 전두엽의 전전두피질, 측두엽, 두정엽, 후두엽이라고 할 수 있다.

둘째, 학습에 대한 인지심리학적 이해를 통한 표상의 원리 및 지침에서 중요한 교육적 요소는 다음과 같다.

지침 1은 모든 학습자가 제공되는 정보를 효율적으로 인식하는 것을 돕기 위해 다양한 감각을 활용할 수 있는 다양한 포맷과 방식으로 자료를 제공하는 것에 관한 지침이다. 이 지침 1에서는 주요 용어는 인지 양식, 인지기능 수준, 조정이 가능한 자료의 포맷, 학습의 맥락이었다. 즉, 학습자의 인지 양식 및 인지기능 수준으로 고려하여 자료의 포맷을 조정하고 학습의 유형이 다른 학습과제를 제공하는 것이 중요한 요인이라는 것이다.

학습의 맥락이 학습과제에 의해 문제해결을 하는 것이라면 제시되는 완성된 형태의 과제를 통해 학습과제의 개요를 파악한 후 학습을 진행하는 전체과제제시를 시키는 것이 효과적이라고 할 수 있다. 하지만, 학습과제 수행을 위한 전략을 파악하는 것이 학습의 목적일 경우에는 학습자의 인지 수준으로 고려하여 낮은 수준의 인지기능을 가진 학습자에게는 부분과제의 반복적인 학습을 통하여 학습과제 수행을 위한 전략의 자동화 및 내면화가 이루어지도록 돕는 것이 중요하다고 할 수 있다.

또한, 시각 정보 선호 학습자에게는 그래프, 다이어그램, 그림, 애니메이션, 실물 또는 모형 등과 같은 비언어적 자극에 의한 시각 정보를 통해 학습 전략 및 학습 내용을 파악하게 한 후 시각 정보와 연계하여 교사의 설명에 의한 학습을 시키는 것이 효과적이고 언어 정보 선호 학습자에게는 텍스트 정보를 읽는 언어적 자극에 따라 학습 관련 내용을 파악하게 한 후 이와 연계하여 교사의 설명에 의한 학습을 시키는 것이 효과적이다.

마지막으로 학습 상황에서 시각장애 학생이나 청각장애 학생이 포함된 경우, 이들도 정보에 접근할 수 있도록 시각장애 학생을 위해서 글씨를 확대하여 출력한 인쇄물을 제공하고, 청각장애 학생을 위해 마이크와 같이 소리를 증폭시킬 수 있는 장비를 활용하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

지침 2는 모든 학습자가 개념을 명확하게 인식하고 정확하게 이해하는 것을 돕기 위하여 대체 표현을 제공하는 것에 관한 지침이다. 지침 2에서는 시각 정보 중 중요한 문구나 용어 강조, 이미지와 판서에 의한 시각적 단서 제공, 다양한 유형의 학습 자료 제공, 이미지와 관련 정보와의 관련성을 알려주는 시각적 단서와 설명의 제공이 중요한 요인이었다.

수업에서 프리젠테이션을 활용하는 경우가 많다. 프리젠테이션 내용에서 중요한 문구나 용어를 강조하기 위하여 사용하는 다양한 시각 강조기법 중 가장 효과적인 기법은 문자의 크기를 키우거나 굵게 처리하는 것이었다. 즉, 프리젠테이션이나 인쇄물 제작 시 중요한 문구나 용어는 다른 텍스트보다 크기를 더 크게 하거나 굵게 조정하는 것이 효과적이라는 것이다. 그리고 동영상을 통해 학습이 이루어질 때는 이미지와 판서를 통해 중요한 내용을 추가로 설명해주는 것이 학습자가 동영상에서 중요한 내용을 파악하는 것을 효과적으로 도울 수 있다. 마지막으로 인지적 수준이 낮은 학습자에게는 삽화만 제공할 것이 아니라 삽

화와 관련된 텍스트 정보와의 관련성을 표현하는 연결선과 같은 시각적 단서의 제공이 필요하다. 왜냐하면, 이들은 텍스트 정보와 삽화의 정보를 연계하여 사고하는 능력이 부족하기 때문이다. 또한, 인지적 수준이 낮은 학습자들은 텍스트 정보에서 중요한 문구나 어휘를 추출하여 이해하는 능력이 부족하므로 그림 정보에 포함하는 캡션 내용도 특징적이고 핵심적인 정보만 간략한 형태로 그림 정보 근처에 제공하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

지침 3은 모든 학습자가 정보를 유용한 지식으로 수용하는 것을 돕기 위한 교수 전략 및 방법과 관련 있는 지침이다. 이 지침에서는 배경지식과 스캐폴딩 제공이 중요한 요인이었다. 배경지식은 학습자가 새로 학습할 내용에 대한 맥락이나 관련 지식을 파악하는 것과 새로 학습할 지식의 수용을 돕는 역할을 한다. 배경지식 제공의 교육적 효과는 학습자의 기존 인지구조에 새로 학습할 개념의 연결이 유의미하게 연결될 때 효과적인 학습이 이루어진다는 오슈벨의 유의미 학습이론에 근거한다. 배경지식 제공은 간단한 문장이나 사진·그림·지도·삽화·모형·도표·실물 등의 시각적 자료, 개념과 용어 사이의 관계를 논리적으로 나타내는 개념도, 체계적이고 구조화된 순서에 의한 질문이나 시범 실험 등과 같은 다양한 형태로 제공될 수 있다. 또한, 배경지식 제공은 학습할 내용과 관련된 현상과 유사한 맥락의 현상을 보여주어 일화적 기억을 유발하고 과거 유사한 경험을 설명했던 지식인 의미기억을 제공해 주는 맥락으로 진행한다.

스캐폴딩 제공에 의한 학습은 4단계로 진행되는 것이 효과적이다. 1단계에서는 학습자보다 인지적 수준이 높은 교수자의 도움을 통한 학습을 진행하는 단계이다. 이 단계에서 교수자의 도움은 과제 수행과 관련된 자세한 설명과 질문, 기능 수행을 도와주기 위하여 과제 수행 과정을 과제 수행 시 지식을 구체적으로 알려주는 언어적 설명을 포함한 모델링, 과제 수행 과정에서 잘못된 부분을 알려주는 교정적 피드백, 과제 수행을 지지하는 긍정적 피드백, 학습자가 목표에 대한 진전 수준을 파악하는 것을 돕는 메타인지적 피드백 제공의 형태로 진행한다. 2단계에서는 학습자 스스로 자기중심적 담화를 통한 자기 안내의 도움 없이 학습과제를 수행하는 단계이다. 이 단계에서 학습자는 완벽하지 않은 수준으로 학습과제를 수행한다. 3단계에서는 반복적인 학습과제 수행을 통하여 과제 해결 전략 및 방법이 내면화 및 자동화되는 단계이다. 이 단계에서 학습자는 교수자의 도움 없이 자유자재로 과제를 수행하게 된다. 마지막 4단계에서는 특정 과제를 수월하게 수행한 학습자가 해결할 수 없는 새로운 과제에서 ZPD를 다시 시작하는 학습 활동을 시작하는 단계이다.

셋째, 표상의 원리 및 지침에서 중요한 교육적 요소에 대한 인지 신경과학적 이해가 주는 교육적 시사점은 다음과 같다.

인지심리학 연구 결과를 분석한 결과 지침 1에서 중요한 요인은 인지 양식, 인지기능 수준, 조정이 가능한 자료의 포맷, 학습의 맥락이었다.

먼저, 인간은 대상 또는 현상의 전체적 특성을 파악하는 전체관찰과 대상 또는 현상의 부분적 및 공간적 정보를 파악하는 부분관찰을 통해 대상 또는 현상의 정보를 파악하게 된다. 전체관찰을 통해 정보를 파악하는 과정에는 대상의 형태적 특성을 파악하는 ‘What pathway’와 같이 하나의 시각 정보 처리 과정이 관여한다. 반면, 대상 또는 현상의 부분적 및 공간적 정보를 파악하기 위해서는 대상 또는 현상의 부분 및 공간의 시각 정보를 파악하고 그 시각 정보의 형태적 의미를 파악하는 과정이 필요하다. 이런 이유로 부분관찰을 통하여 시각 정보를 파악하는 과정에는 ‘What pathway’와 ‘Where pathway’의 두 가

지 시각 정보 처리 과정이 관여한다. 즉, 전체관찰보다 부분관찰을 수행할 때 더 많은 인지 처리 과정이 필요하다고 할 수 있다.

또한, 과학영재 학생들은 문제 인식, 항목 관찰 단계, 분류 기준 생성까지의 불필요한 인지 과부하를 최소화하여 효율적으로 과제의 맥락을 파악한 후 과제를 효율적으로 수행하였다. 하지만 일반 학생들은 문제 인식을 위한 핵심적인 정보를 파악에 어려움으로 나타내기 때문에 문제 인식을 위한 효율적인 정보 검색과 과제 수행에 많은 인지적 부담을 나타냈다. 다시 말해 일반 학생과 비교하여 과학영재 학생들은 문제 인식과 과제 수행 과정에서 신경 효율성이 상대적으로 높았다고 할 수 있다.

이상의 결과를 정리하면 인지 수준이 낮은 학생에게는 부분관찰과 부분과제 학습을 먼저 하는 것이 신경 효율성 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

청각장애 학생들은 일반 학생들보다 뇌 외부의 시각 정보를 파악하는 과정에 있어서 유리하며, 일반 학생들은 청각장애 학생들보다 뇌 내부 정보 기반의 언어적 정보처리 측면에서 유리하다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 또한, 언어 정보처리 시 뇌 내부 기반의 정보 처리 과정이 수행되는 것에 따라 언어 정보처리는 일정 수준 이상의 인지 수준을 요구하는 인지 과정이라고 할 수 있다.

이상의 연구 결과를 종합하면, 시각 정보 처리에 유리한 학습자에게는 시각을 활용하여 파악하는 학습과제와 시각적 단서 제공에 의한 학습이 중요하다고 할 수 있다.

지침 2에서는 시각 정보 중 중요한 문구나 용어 강조, 이미지와 판서에 의한 시각적 단서 제공, 다양한 유형의 학습 자료 제공, 이미지와 관련 정보와의 관련성을 알려주는 시각적 단서와 설명의 제공이 중요한 요인이었다.

이와 관련된 인지 신경과학 연구 결과를 탐색한 결과, 시각 정보 중 중요한 문구나 용어를 강조하는 시각적 효과, 이미지와 관련된 정보와의 관련성을 알려주는 시각적 단서 및 설명 제공과 관련된 연구는 찾지 못하였다.

다양한 유형의 학습 자료 제공과 관련된 인지 신경과학의 교육적 시사점은 다음과 같다.

암석 사진을 통해 관찰 활동을 수행할 때와 비교하여 실물 암석을 통해 관찰 활동을 수행할 때는 변연엽의 전대상회 영역, 전두엽의 내측전두이랑과 상전두이랑 영역에서 알파파의 활성이 증가하였다고 밝혔다. 이와 같은 결과는 사진 자료 보다 실물 자료를 활용한 학습 활동 시 더 다양한 속성에 대한 주의집중이 가능하며, 이 사고는 장기기억 상태로 저장된 정보 기반의 사고인 하향식 사고를 통해 인지적으로 편안한 상태에서 관찰 활동을 수행하였다고 할 수 있다.

영재 학생은 컬러사진, 흑백사진, 선으로만 구성된 그림 유형의 과제를 수행할 때, 후두엽에서 활성이 시작된 후 후대상이랑 영역까지 활성이 확장되었다. 일반 학생은 컬러사진의 경우에서만 후두엽에서 시작된 뇌 활성이 후대상이랑 영역까지 확장되었고 흑백사진과 선으로만 구성된 그림을 관찰할 때는 피질하 영역으로 활성이 이어지는 양상을 나타냈다. 특수교육대상 학생들은 대체로 후두엽에서만 뇌 활성이 나타났다.

이상의 결과를 정리하면 컬러사진 → 흑백사진 → 선으로만 구성된 그림 자료로 갈수록 학생들은 정서적으로나 인지적으로 부정적인 반응을 유도한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 컬러사진 → 흑백사진 → 선으로만 구성된 그림으로 갈수록 사고의 확장이 덜 이루어진다고 할 수 있다. 특히, 특수교육대상 학생들의 효율적 관찰 학습을 위해서는 학습 시작 전과

학습 활동 수행 시 학습 과정에 대한 교사의 자세한 설명과 단서 제시가 필요하다고 할 수 있다.

지침 3에서는 배경지식과 스캐폴딩이 중요한 요인이었다.

배경지식을 가설생성 및 수용과제의 생명현상과 유사한 맥락의 현상과 관련 지식이 간단한 글과 그림으로 표현된 형태로 제공했을 때와 제공하지 않았을 때의 뇌파 활성 연구 결과를 살펴보면, 가설생성 시 세타파의 활성은 배경지식이 제공되지 않는 과제를 수행할 때와 비교하여 배경지식이 제공되는 과제를 수행할 때 상위 집단 학생은 전두엽 > 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서, 하위 집단 학생은 후두엽 > 측두엽 > 후두엽에서 활성이 높은 경향이 나타났다. 알파파의 경우 상위 집단 학생은 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서, 하위 집단 학생은 후두엽 > 두정엽 > 측두엽에서 활성이 높은 경향을 보였다.

가설 수용 시 세타파의 활성은 배경지식이 제공되지 않는 과제를 수행할 때와 비교해 배경지식이 제공되는 과제를 수행할 때 상위 집단 학생은 측두엽에서, 하위 집단 학생은 측두엽 > 후두엽 > 뇌 전체 영역 > 두정엽 > 전두엽에서, 하위 집단 학생은 전두엽 > 뇌 전체 영역 > 후두엽 > 측두엽 > 두정엽에서 뇌 활성이 유의미하게 높았다. 알파파의 경우 상위 집단 학생은 후두엽을 제외한 모든 영역에서 활성이 낮았으며, 하위 집단 학생은 후두엽에서는 높은 활성이 나타났고 전두엽과 두정엽에서는 낮은 활성을 보였다.

이상의 결과는 배경지식 제공으로 인하여 상위 집단 학생들이 현상에 관한 변인 요소의 의미를 파악하기 위해 형태적 세부 특성과 위치·공간 정보를 탐색하고 변인의 의미와 글 내용을 의미에 따라 연결하여 최종적으로 수용할 지식에 관한 시각적 추상 정보를 통합하여 표상하는 사고 과정을 수행할 때 긍정적인 정신적 긴장이 유발되었다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

또한, 스캐폴딩 과정에서 뇌 과학적 기제를 살펴보면, 교수자의 모델링을 통한 학습을 통해 학습자는 기저핵과 소뇌에서 활성이 이루어지며, 이를 통해 과제 수행을 위한 기능, 시간적 순서에 의한 행동 결정 등과 같은 절차적 지식, 무의식적 인지 과정, 교수자의 모델링 과정에서의 언어적 설명에 대한 기억을 과제 수행 동안 유지하는 언어적 작업기억과 같은 인지능력 측면에서 긍정적인 영향을 받는 경험을 한다고 할 수 있다.

선행연구에 따르면 교수자의 모델링을 통한 학습자의 모방 학습은 거울 뉴런시스템과 배외측 전전두피질에서의 뇌 활성을 기반으로 이루어진다 [15]. 거울 뉴런 신경 시스템은 목적 지향적 행동에 따라 활성이 이루어지는 뇌 영역이다 [15]. 학습자의 모방 학습을 유발하기 위하여 교수자가 모델링을 제공할 경우 학습자가 교수자 행위의 의도를 파악하고, 목적을 기반으로 교수자의 행위를 분석하게 하며, 자신의 행동 계획을 구상하고 실행하는 것을 도와주는 것이 중요하다고 할 수 있다. 즉, 교수자의 모델링에서는 행위의 의도와 행위를 학습자가 쉽게 파악하도록 유도하기 위하여 구체적인 행위와 설명이 동시에 진행되는 것이 학습자의 효율적인 학습을 위해 중요한 요소라고 할 수 있다.

피드백은 절차적 지식과 관련된 뇌 영역인 기저핵(basal ganglia)과 소뇌(cerebellum), 정서와 연관 있는 뇌 영역인 변연계(limbic system), 각성의 수준을 조절하는 것으로 알려진 뇌 영역인 망상체(reticular formation)에서의 뇌 활성과 관련이 있다. 그리고 행위의 결과를 구체적으로 밝히는 형태의 피드백이 제공될 때는 미상행에서, 단서 자극에 따른 목표 반응을 유지 또는 수정하는 것과 관련된 정보를 포함하는 학습 피드백 제공 시 소뇌에서 활성

이 증가하였다. 또한, 학습 상황에서 자신의 오류를 점검하기 위한 모니터링을 제공하는 학습-처벌 피드백을 제공할 경우 배외측 전전두피질과 배내측 전전두피질 등의 영역에서 활성이 증가하였다.

칭찬과 격려와 관련된 피드백을 제공할 때의 신경전달물질 발생 결과를 살펴보면, 학습자가 과제 수행과 관련하여 성공적인 경험을 가지게 되는 것에 의해 학습자의 뇌에서 세로토닌이 분비되고 습자의 과제 수행의 수준이 나쁘더라도 교사가 학습자에게 긍정적으로 성공을 예언하는 발언을 반복적으로 제공할 경우 학습자의 뇌에서 도파민의 분비가 촉진되는 것으로 나타난다. 또한, 교사의 부정적인 언어를 반복하여 들은 학습자의 경우 스트레스를 유발하는 신경전달물질로 알려진 코르티솔의 분비를 촉진한다.

이상을 정리하면, 교수자가 학생에게 피드백을 제공할 때, 과제 수행을 위한 단서와 절차에 대한 구체적인 단서와 설명을 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행의 진전 수준과 수행 행동 과정에 초점을 맞추는 과정 중심의 격려를 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행 수준이 나쁘더라도 학습자가 과제를 성공적으로 수행하리라는 것을 예언하는 방식으로 제공하는 지지적 피드백, 과제 수행 과정을 점검하게 하는 메타인지적 피드백을 제공하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

넷째, 위와 같은 표상의 원리에 관한 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 결과들을 종합 분석한 결과를 기반으로 뇌 기반 표상의 원리 교수 전략 및 방법은 다음과 같이 표상의 원리 지침별로 구성하였다.

표상의 원리의 첫 번째 지침인 ‘인지 방법의 다양한 선택 제공’ 지침은 학생들이 선호하는 인지 양식을 고려하여 그들이 선호하는 방식에 의해 정보를 인식할 수 있도록 돕는 다양한 기회를 제공하는 것이다. 즉, 정보를 다양한 방식으로 제시하여 학생들이 정보를 효율적으로 이해하고 과제의 맥락을 효과적으로 파악할 수 있도록 도우며, 과제를 효율적으로 수행할 수 있도록 돕는 것의 목적이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 1에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

- ① 전체적인 문제해결을 요구하는 과제에서는 전체적인 맥락을 파악할 수 있도록 완성된 결과물과 제시된 부분과제를 제시
- ② 시각형 인지 양식을 가진 학습자에게는 비언어적 형태의 시각 정보를 먼저, 언어형 인지 양식을 가진 학습자에게는 언어적 형태의 언어 정보를 먼저 제시
- ③ 인지 수준이 낮은 학습자를 위하여 복잡한 과제를 단순화된 여러 단계의 과제로 구분하여 제시
- ④ 인지 수준이 낮은 학습자를 위하여 부분과제에 대한 반복적 연습을 통한 충분한 이해 후 전체과제 학습

표상의 원리 두 번째 지침인 ‘언어와 기호의 다양한 선택 제공’ 지침은 학생들이 정보 및 과제 활동의 의미를 파악하는 것을 돕는 것과 관련된 지침이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 2에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

- ① 중요한 문구나 용어를 강조하기 위해 글자의 크기나 굵기를 조절
- ② 텍스트 정보와 그림 자료 정보의 관계를 연결선 등과 같은 시각적 단서를 통해 안내

③ 텍스트 정보나 그림 자료 정보는 특징적이거나 핵심적인 정보만 함축적으로 표현된 짧은 길이의 텍스트 형태로 제공

④ 실물 또는 모형, 컬러사진, 흑백사진, 선으로만 구성된 그림의 순서대로 제시

⑤ 낮은 인지 수준의 학습자를 위하여 학습 시작 전과 학습 활동 수행 시 학습 과정에 대한 교사의 자세한 설명과 단서 제시

표상의 원리 세 번째 지침인 ‘이해를 돕기 위한 다양한 선택 제공’ 지침은 학생들이 정보 및 과제 활동의 의미를 효율적으로 이해하는 것을 돕기 위해 다양한 매체와 전략을 활용하는 것에 관한 내용과 관련된 지침이다. 뇌 기반 표상의 원리 중 지침 3에 대한 자세한 교수 전략은 다음과 같다.

① 사전지식 및 배경지식을 활용한 수업을 진행할 때는 학습할 개념과 유사한 요목의 개념 및 용어, 학습할 개념과 유사한 맥락의 현상과 현상 관련 개념 및 용어의 제시

② 학습자가 개념이나 사고에 대한 이해를 높이기 위해서 질문과 설명과 같은 구체적인 언어적 지시 제공

③ 교수자 행위의 의도 파악하고 교수자 행위 분석하도록 하는 것을 돕기 위한 교수자 행위 목적, 절차 등과 관련된 자세한 설명을 포함하는 교수자의 시범을 통한 모방 학습 활동, 학습 활동 간 질문, 언어적 상호작용 제공

④ 과제 수행을 위한 단서와 절차에 대한 구체적인 단서와 설명을 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행의 진전 수준과 수행 행동 과정에 초점을 맞추는 과정 중심의 격려를 제공하는 지지적 피드백, 학습자의 과제 수행 수준이 나쁘더라도 학습자가 과제를 성공적으로 수행하리라는 것을 예언하는 방식으로 제공하는 지지적 피드백, 과제 수행 과정을 점검하게 하는 메타인지적 피드백 제공

이상에서 본 바와 같이, 본 연구는 인지심리학 및 인지 신경과학의 융합적 접근에 기초하여 UDL 표상의 원리 기초를 제공하는 인지적 네트워크의 의미와 UDL 표상의 원리와 지침 기반 교수-학습 전략 및 방법을 제시하였다. 하지만, 제시한 교수-학습 전략 및 방법을 다양한 인지적 수준 및 학습 특성을 가지는 학습자에게 적용하여 효과를 검증하지 못하였다는 한계점이 있다. 또한, 모든 UDL 표상의 원리의 모든 하위 지침에 대한 인지심리학 및 인지 신경과학 연구 성과들을 분석하지 못하였다는 한계점도 있다. 예를 들어, 다양한 시각적 강조 효과 방식에 의한 뇌 활성화 연구와 스케폴딩 제공에 의한 뇌 활성화 연구, 다른 유형의 피드백을 적용했을 때 인지 수준이 다른 학습자의 뇌 활성화 차이 비교 연구는 탐색하지 못하였다. 따라서 이와 같은 주제를 후속연구로 제안한다. 또한, UDL 표상의 원리와 지침 기반 교수-학습 전략을 적용한 교수-학습프로그램을 개발하여 효과를 검증하는 연구를 제안해볼 수 있겠다. 더 나아가 UDL의 행동과 표현의 원리와 참여의 원리도 인지심리학 및 인지 신경과학의 융합적 접근을 통하여 구체적 교수-학습 전략을 탐색하고 탐색한 교수-학습 전략의 효과를 검증하는 연구도 수행될 필요가 있다고 할 수 있다.

Reference

- [1] Kwon, E. K. (2018). The Effect of Self-Regulated Learning Factors on Learning Motivation on Underachiever. *Journal of Digital Convergence*, 16(3), 113-110.
- [2] Lee, K. H., Han, M. J., Kim, M. J., & Choi, B. S. (2014). Development and Intervention Effect of Customized Instructional Program for Underachievers in Middle School Science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(5), 421-436.
- [3] Montague, M. (1992). The effects of cognitive and metacognitive strategy instruction on the mathematical problem solving of middle school students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 25(4), 230-248.
- [4] Kim, D. I., Kim, H. J., Kim, H. E., & Ahn, S. J. (2018). Analysis of Effects of Program for the Dyslexia and Reading Difficulties: Focused on the Gyeonggi-Do Project of the Dyslexia Program. *Asian Journal of Education*, 19(2), 403-427.
- [5] National Youth Policy Institute (2017). Study on the Implementation of International Conventions on the Rights of Children and Youths - The Status of the Rights of Children and Youths in Korea in 2017 -. 197-215.
- [6] Lee, D. S., & Hwang, M. H. (2014). *Understanding and Guidance of Underachieved Students*. Seoul : Kyoyookgwahaksa.
- [7] Kim, S. Y., Lee, K. R., Back, N. G., & Park, J. H. (2015). Effects on Individually Tailored Teaching According to Types of Under-achievement in Science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(5), 907-917.
- [8] Deshler, D. D., Schumaker, J. B., Lenz, B. K., Bulgren, J. A., Hock, M. F., Knight, J., & Ehren, B. J. (2001). Ensuring content-area learning by secondary students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 16(2), 96-108.
- [9] Kim, N. J., & Kim, Y. W. (2017). A Study on the Relationship Between Universal Design for Learning and Differentiating Instruction. *The Journal of Special Education: Theory and Practice*, 18(4), 157-182.
- [10] Kim, Y. S., & Kim, N. J. (2018). Survey of Actual Operation Practice of Science Classes based on Universal Design for Learning of General Middle and High School. *The Journal of Special Education: Theory and Practice*, 19(1), 211-231.
- [11] Rose, D., & Meyer, A. (2002) *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development(ASCD).
- [12] Son, J. Y., & Kim, D. I. (2010). A Research Review on Strategies and Effectiveness of Universal Design for Learning applied to the Education Settings. *The Journal of Special Education: Theory and Practice*, 11(1), 385-411.
- [13] CAST (2018). *Universal Design for Learning Guidelines Version 2.2[Graphic Organizer]*. Wakefield, MA: Author.
- [14] Bernard, J. & Nicole, M. Gage. (2010). *Cognition, Brain, and Consciousness : Introduction to Cognitive Neuroscience, 1st Ed*(인지, 뇌, 의식 인지신경과학 입문서 1판)Kaang, B. K., Trans.). Seoul: Kyobo Book Centre. (Original work published in 2007).
- [15] Ward, J. (2017). *Cognitive Neuroscience Introductory*(인지신경과학 입문)(Lee, D. H., Kim, H. J., Lee, D. J., & Cho, S. H., Trans.) Seoul: Sigmappress. (Original work published in 2015).

- [16] Kim, N. J., & Kim, Y. W.(2017). *Special Education Technology(2nd Ed.)*. Seoul: Hajisa.
- [17] Kim, N. J., Kim, Y. W., & Woo, J. H. (2016). The Effect of Academic Achievement and Affective Characteristics by Classes with UDL. *The Journal of Special Education: Theory and Practice, 17*(4), 67-90.
- [18] Lim, E. S., & Paik. E. H. (2011). The Effects of Integrated Visual Art Instruction Based on Universal Design for Learning(UDL) on Social Interaction of Students with Mental Retardation in Middle School. *The Journal of Special Children Education. 13*(4), 211-227.
- [19] Cho, S. H., & Park, S. H. (2011). Effects of Universally Designed Inclusive Elementary Science Classes on the Science Achievement of Students without and with Disabilities. *Korean Journal of Special Education, 46*(2), 51-84.
- [20] Kim, Y. S., Kim, N. J., Lee, H. J., & Kim, Y. W. (2019). The Effect of UDL Based Science Instruction on Science Positive Experience of Middle School Student. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science, 58*(1), 49-78.
- [21] Kwon, H. J., Park, H. S., & Hong, S. D. (2013). The Effect of UDL on Science Achievement and the Analysis of Subgroups in Middle School Students: With the Latent Growth Class Analysis. *Asian Journal of Education, 14*(3), 1-24.
- [22] Lee, K. R., Back, N. G., & Park, J. H. (2015). Analysis of the Structural Relationship among Learning Outcomes in Science Classes applying Universal Design for Learning. *The Journal of Korea Elementary Education, 34*(1), 1-14.
- [23] Lee, Y. W., & Han, K. G. (2018). A Study on the Influence of the Application of Augmented Reality Technique-based learning contents in universal-learning-design-applied middle school Geography Subject Integrative Instruction on Inclusive Class Students' Academic Achievement and Class Attendance. *Korean Journal of Physical, Multiple & Health Disabilities, 61*(1), 285-312.
- [24] Park, N. S. (2013). Principles and Application Method of UDL for Participation of Students with Disabilities on Social Studies Classes in Inclusive Class. *Research in Social Studies Education, 20*(2), 45-59.
- [25] Son, J. Y., & Cha, H. J. (2019). Analysis of Digital Textbooks and the Improvements on the Development Process of Digital Textbooks from the Universal Design for Learning Perspective. *Korean Journal of Special Education. 53*(4), 213-240.
- [26] Kim, Y. S., & Kim, N. J. (2018). Survey of Actual Operation Practice of Science Classes based on Universal Design for Learning of General Middle and High School. *The Journal of Special Education: Theory and Practice, 19*(1), 211-231.
- [27] Park, S. M., & Park, J. K. (2014). Middle school Teacher's perception about Universal Design for Learning(UDL) for inclusive education: Focused on Busan. *Journal of Educational Innovation Research. 24*(1), 1-15.
- [28] Lee. J. M., Kang, E. J., Kim, M. S., Kham, K. T., Kim, J. O., Park, T. J., Kim, S. I., Shin, H. J., Yi, K. O., Kim, Y., J., Lee, J. H., Do, K. S., Lee, Y. A., Park, J. Y., Kwak, H. W., Park, C. H., & Lee, J. S. (2017). *Cognitive Psychology 2nd ed.* Seoul: Hajisa.
- [29] Sousa, D. (2010). *How science met pedagogy*. In D. Sousa (Ed.), *Mind, brain, and education: Neuroscience implications for the classroom*(pp. 9-24). Bloomington, IN: Solution Tree Press.
- [30] Kim, Y. S., Jeong, J. S., & Park, C. U. (2017). Search for Observational Teaching Strategies of

- Students with Intellectual disability based on Brain Science Theory. *The Journal of Special Education : Theory and Practice*, 18(2), 105~123.
- [31] Kim, Y. S., & Jeong, J. S. (2017). The Brain Activity Difference between Knowledge Generation and Acceptance of Low and General Achieving Students during the Observation and Classification Activities. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, 56(4), 25-47.
- [32] CAST (2018). *Universal Design for Learning Guidelines Version 2.2[Graphic Organizer]*. Wakefield, MA: Author.
- [33] Meyer, A., Rose, D. H., & Gordon, D. (2014). *Universal Design for Learning: Theory & Practice*. Wakefield, MA: CAST Professional Publishing.
- [34] Jo, S. Y., & Joung, S. Y. (2011). The Effects of Whole-Task Presentation and Part-Task Practice on Problem Solving and Cognitive Load based on Learner's Previous Cognitive Skills. *Asian Journal of Education*, 12(2), 159-188.
- [35] Lee, T. Y. (2019). Individual differences in the information processing and cognitive style: focusing on the analytic/wholistic cognitive style. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 31(1), 1-16.
- [36] Do, K. S., & Hwang, H. R. (2006). Cognitive Style and Presentation Order on Retention and Integration of Information in Multimedia Learning. *Korean Journal of Cognitive Science*, 17(3), 231-253.
- [37] Park, B. Y., Kim, S. K., Lee, K. E., Lee, H. J., & Lee, H. W. (2019). Effects of Visual Highlighting on Hangul Word Processing in Computer Environment: Comparing Highlighting Techniques. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 9(2), 9-20.
- [38] Lee, E. J., & Park, I. W. (2018). The Effect of Video Types on Learning Satisfaction and Academic Achievement in accordance with Visual Cue Presentation. *The Journal of Research in Education*, 31(4), 129-153.
- [39] Ametller, J., & Pintó, R. (2002). Students' reading of innovative images of energy at secondary school level. *International Journal of Science Education*, 24(3), 285-312.
- [40] Jeong, A. J., & Lee, K. J. (2016). Analysis of Processes in Understanding about Illustrated Science Text for High Science Achievers and Low Science Achievers with Types of Biological Knowledge using Eye-tracking. *Biology Education*, 44(1), 155~166.
- [41] Yang, H. K. (2010). Effects of Cohesion in Text and Background Knowledge on Comprehension Process. Master's thesis, Keimyung University.
- [42] National Institute of Special Education (2018). *the Glossary of Special Education*, Revised edition. Seoul : Hawoo.
- [43] Ausubel, D. P.(1968), *Educational psychology: A cognitive view*. 2nd ed. New York. : Holt, Rinehart and Winston.
- [44] Kim, Y. M., Park, Y. B., Park, H. J., Shin, D. H., Jeong, J. S., & Song, S. S. (2016). *World of Science Education*. Seoul: Bookshill.
- [45] Moon, M. K., & Kim, D. J. (2014). Effect of Biological Education Using Advanced Organizer on Students' Academic Achievement : Focused on the Unit of Respiration for the 2nd Grade Middle School. *Bulletin of Science Education*, 29(2), 117-137.
- [46] Shrager, J. (1985). Instructionless learning: Discovery of the mental model of a complex device.

Carnegie Mellon University.

- [47] Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- [48] Kim, I. K. & Lee, H. J. (2007). The Role of Student's Prior Knowledge in the Processes of Generating Scientific Explanatory Hypothesis. *New Physics: Sae Mulli*, 54(2), 65-73.
- [49] Park, E. M. & Kang, S. H. (2006). Analysis of the Relationship Between the Scientific Attitude and the Scientific Hypothesis-Generating Ability. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 9(2), 357-371.
- [50] Kim, I. K., Kim, J. J., Jeong, M. S., & Park, J. W. (2014). Middle School Student's Hypotheses Generation and Their Characteristics in the Process. *New Physics: Sae Mulli*, 64(7), 737-746.
- [51] Kim, W. S. & Kim, Y. M. (2017). An Effect of Analogy Scaffolding for Middle School Students' Explanatory Hypothesis Generation on Water Wave Interference Phenomenon. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(6), 1015-1023.
- [52] Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [53] Ahn, Y. D. (2006). *Brain-scientific Understanding and Educational Implications of Piaget and Vygotsky Constructivism Theory*. Master's thesis, Seoul National University of Education.
- [54] Lee, A. N. (2018). *Brain-scientific Understanding of the Teacher & Learner's Behavioral Characteristics in the Process of Scaffolding*. Master's thesis, Seoul National University of Education.
- [55] Gallimore, R. & Tharp, R. G. (1990). *Teaching mind in society: Teaching, schooling, and education; Instructional implications and application of sociohistorical psychology*. Cambridge University Press.
- [56] Lee, H. J. (2000). *An Analysis of the differences in Problem Solving and Scaffolding by the Interaction of Teacher and Peers*. Master's thesis, Seoul National University of Education.
- [57] Chay, J. S. (2004). *The Scaffolding process of elementary school children : an analysis based on the grounded theory*. Master's thesis, Seoul National University of Education.
- [58] Yang, I. H., Lee, S. J., Kim, E. A., Lee, S. R., & Kwon, S. W. (2010). Analysis of Observation Characteristics by Cognitive Style : MEG Study. *Journal of the Korean Association for in Science Education*, 30(8), 1097-1109.
- [59] Oh, Y. J. (2016). *A Comparative Study of the Characteristics of Brain Activation in Students with Intellectual Disabilities and without Disabilities in Matrix Reasoning*. Master's thesis, Korea National University of Education.
- [60] Yang, I. H., Choi, H. D., Jeong, M. Y., & Lim, S. M. (2013). Differences in Eye Movement during the Observing of Spiders by University Students' Cognitive Style -Heat map and Gaze plot analysis. *Journal of Science Education*, 37(1), 142-156.
- [61] Choi, H. D., Shin, W. S., & Shin, D. H. (2012). Differences in Eye Movement Pattern during the Classification between the Gifted and General Students in Elementary Schools. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(4), 501-512.
- [62] Kim, S. E., & Jeong, J. S. (2010). *Comparative Analysis of Hearing-Impaired and Non-Disabled University Students' Brain Waves Measured during the Biological*

- Classification and Hypothesis-Generation. *Biology Education*, , 38(4), 621-630.
- [63] Choi, Y. R. (2015). Analysis of brain activation on real rock and color pictured rock during observation-EEG study. Master's thesis, Korea National University of Education.
- [64] Kim, J. K. (2013). Development of Time Series Path Model of Brain Visual Processing according to Inscription Patterns of Earth Science in Elementary School. Doctoral Dissertation, Korea National University of Education.
- [65] Korean Brain Wave Research Association. (2017). *The Techniques and Application of EEG Analysis : From Foundation to Clinical Studies*. Seoul: Daehanuihak.
- [66] Kim, Y. S., Jeong, J. S., & Park, S. Y. (2019). The Effect of Background Knowledge on the Generation and Acceptance of Life Sciences by Student Level: EEG Study. Paper presented at the 75th KASE General Meeting & International Conference, Cheongju, Chungcheongbuk-do Province.
- [67] Lee, H. H. (2009). Analysis of Brain activation Network in Question Generation regarding Biological Phenomenon : An fMRI study. Master's thesis, Korea National University of Education
- [68] Lee, S. H., & Lee, K. M. (2000). Brain Activation Associated with Word Fluency Tasks: A Functional Magnetic Resonance Image Study. *Journal of the Korean Neurological Association*, 18(2), 138-143.
- [69] Blackwood, N., Simmons, A., Bentall, R., Murray, R., & Howard, R. (2004). The cerebellum and decision making under uncertainty. *Cognitive Brain Research*, 20(1), 46-53.
- [70] Naghavi, H. R., & Nyberg, L. (2005). Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: shared demands on integration?. *Consciousness and cognition*, 14(2), 390-425.
- [71] Kim, J. H., & Kang, E. J. (2017). Learning-associated Reward and Penalty in Feedback Learning : an fMRI activation study. *Korean Journal Of Cognitive Science*, 28(1), 65-90.
- [72] 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(4), 391-410.
- [73] Kim, J. H., & Cho, J. Y. (2017). Brain-Scientific Understanding of the Emotion-intervened Self-Efficacy and Directions of the Teaching and Learning. *The Journal of Elementary Education*, 30(1), 73-95.
- [74] Sylwester, R. (1995). *A Celebration of neurons*. Alexandria, VA: ASCD.