

Meta-Learning: Theoretical Foundation, Major Principles and Models, and Its' Application to Computer-Assisted Collaborative Learning¹⁾²⁾

Park, Hyu-Yong³⁾ (Jeonbuk National University, Professor)

< ABSTRACT >

This study aims to discuss the concepts, characteristics, and principles (models) of meta-learning, as a strategic model for machine learning, which might supplement humanistic experiential learning theory. To address this issue, this paper suggested three kernel research questions: i) What are the basic principles and traits of experiential learning and how are the learning environments (spaces) and modalities changing in the technology-oriented society?, ii) What are the notions and basic structures of meta-learning and what principles and models can be adopted as the meta-learning practices?, iii) What is the actual case of meta-learning employed in a technology-based learning milieu and what are the seminal principles and necessary tools for it? This paper's biggest arguments are as follow: First, experiential learning has been solely interested in contact, personal, and aspects of contextual experiences for cognitive learning, while meta-learning has special attention on non-contact, indirect, beyond-context, and a mediated learning. Second, since meta-learning is especially useful for intuitive and technology-based learning situations, it helps much the learning practices of technology-friendly learners. Third, the meta-learning principles (models) may include meta-reinforcement learning, distributed learning, federated learning, and self-adaptive learning. Fourth, meta-learning has been actualized in the computer-supported collaborative learning, which highlights the individual, mediated, and self-adaptive learning that utilizes technological tools diversely in a digital learning platform. This paper's suggestive arguments on meta-learning may promote active discussions in academic fields about the link between humanistic experiential learning and machine learning.

Key Words : Experiential learning, meta-learning, virtual worlds, technology-based learning, computer-assisted collaborative learning

1) This research was supported by Chonbuk National University Research Fund, 2022.

2) This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2021S1A3A2A01090926).

3) Author: Park, Hyu-Yong, Professor, Jeonbuk National University, 756 Bakjedae-Ro, Dukjin-Gu, Jeonju-Si, Jeonbuk, Korea, 54896 / E-mail: phyl@jbnu.ac.kr

메타-학습: 이론적 토대, 주요 원리와 모형, 그리고 컴퓨터-지원 협력학습의 적용¹⁾²⁾

박휴용³⁾ (전북대학교, 교수)

< 요약 >

본고는 기존의 인본주의적 이론에 입각한 경험 학습을 대신하는 메타-학습의 개념과 특징 및 유형과 학습이론으로서의 가능성을 논의하고자 하였다. 이를 위해 본고는 세 가지 연구문제를 제시하였다: i) 경험 학습의 기본 원리와 그 특징은 무엇이며, 인간의 학습환경과 학습 양식은 어떻게 변하고 있는가?; ii) 메타-학습의 개념과 기본 구조는 무엇이고, 어떤 원리와 모형이 있는가?; iii) 메타-학습이 실제로 적용되는 컴퓨터-지원 협력 학습의 원리와 고려해야할 요인은 무엇인가? 본고의 핵심적 주장을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 경험 학습은 대면적이고 개별적이며 맥락적인 경험을 주목하여 주로 인지적 학습을 설명하는데 주력하였지만, 메타-학습은 비대면적, 탈맥락적, 간접적, 그리고 매체활용 학습에 유용하다는 것이다. 둘째, 메타-학습은 직관적/통찰적 학습과 기술기반 학습에 활용도가 높기 때문에 다양한 정보통신 기기들이 생활화된 오늘날 이러한 기술적 도구들(컴퓨터, 스마트/유비쿼터스 기기, PPT, 각종 앱 등)에 익숙한 학습자들에게 특히 유용하다는 것이다. 셋째, 메타-학습의 주요 원리(모형)는 외적 강화학습, 분산적 학습, 연합적 학습, 그리고 자기-적응적 학습을 통해 설명될 수 있다. 넷째, 메타-학습이 구체적으로 구현된 컴퓨터-지원 학습은 실제 세계를 최대한 재현한 디지털 학습플랫폼에서 다양한 기술적 매체를 활용하여 개별적이면서도 다중적이고 자기-적응적 보완 학습을 촉진하는 과정이라는 것이다. 마지막으로 본고는 메타-학습과 관련한 주요한 논란점에 대해 논의하였고, 이러한 논의가 인본주의적 학습과 기계학습의 공통된 원리인 메타-학습에 대한 학계의 추가적 연구를 촉발할 수 있을 것이다.

주요어 : 경험학습, 메타-학습, 가상 공간, 기술기반학습, 컴퓨터-지원 협력학습

1) 이 논문은 2022년도 전북대학교 연구기반조성비 지원에 의하여 연구되었음.

2) 이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021S1A3A2A01090926).

3) 저자: 박휴용, 교수, (54896) 전북 전주시 덕진구 백제대로 567, 전북대학교 / E-mail: phy1@jbnu.ac.kr
논문투고일자: 2022. 5. 15 / 심사일자: 2022. 5. 15 / 게재확정일자: 2022. 6. 8

I. 서론

인간의 경험은 다양한 인지적, 신체적, 정서적 활동들을 통해 이루어지고, 그러한 활동들을 통해 인간은 학습, 소통, 여가, 그리고 생산 활동 등의 다양한 사회적 활동들을 수행한다. 그런 의미에서 경험은 자연스레 가장 근본적이면서도 중요한 학습의 원천으로 간주되어왔고, 그러한 인간 경험과 학습의 관련성에 대한 수많은 이론이 제시되고 논의되어왔다. 그중 가장 대표적인 것이 바로 경험 학습이론이다. 이 경험학습이론은 지난 60여 년간 인간만이 학습의 유일한 주체이고, 인간의 경험이 학습의 가장 중요한 원천이며, 그러한 경험의 결과가 인간 두뇌 속에 어떤 과정 혹은 형태로든 학습의 흔적을 남기게 된다는 인식을 심어놓는데 중요한 역할을 수행하여왔다.

이러한 경험 학습의 역할과 의미를 충분히 인식하고 있음에도 불구하고, 본고는 급변하는 기술적 환경의 변화에 따라 현대인들이 경험하는 생활(삶)의 양식과 경험 방식이 과거와는 비교할 수도 없게 급격히 변해가는 현실에 주목하였다. 즉, 4차산업혁명과 인공지능의 급격한 발전이라는 오늘날의 기술적 환경 속에서 인간의 학습은 기존의 경험학습이론의 관점만으로 설명하는데 한계가 있다는 것이다. 이에 본고는 실제 세계에서 인간의 경험을 학습의 가장 기본 동력이자 원리로 상정하는 경험학습이론의 관점에서 벗어나서, 컴퓨터 및 인공지능 기술의 발달로 인간의 경험이 가상 현실로 확장되는 현실에서의 학습을 설명하기 위해 메타-학습의 개념과 이론적 관점이 필요함을 강조하고자 한다. 본고는 전통적 인간학습의 특성을 설명하는 대표적인 학습이론을 경험학습으로 보는 반면, 메타-학습은 컴퓨터, 인공지능, 가상현실 등과 같은 디지털 기술이 역동적으로 적용된 학습환경에서 이루어지는 학습이라고 정의하고자 한다. 그런 의미에서 메타-학습은 인간학습의 원리를 설명하는 새로운 관점이자, 본고에서 다루게 될 컴퓨터-지원 협력 학습이나 인공지능 보조학습과 같은 기술 기반 학습의 가장 기본적 작동원리로 활용되고 있다는 것이 본고의 핵심 주장이다.

이 주장을 구체화하기 위해 본고는 다음 세 가지 연구문제를 중심으로 경험 학습을 기술 기반 환경에서의 학습으로 확장한 메타-학습의 개념과 원리, 그리고 학습의 실체가 무엇인지 논의하고자 한다.

첫째, 경험 학습의 기본 원리와 그 특징은 무엇이고, 메타-학습이 이러한 경험학습의 한계를 보완하고 학습 공간과 학습 양식의 변화에 대응하기 위해 어떤 가능성을 갖는가?

둘째, 메타-학습의 개념과 기본 구조는 무엇이고, 어떤 원리와 모형들로 구현되는가?

셋째, 메타-학습이 적용된 사례로서 컴퓨터-지원 협력학습의 기본원리와 기술적 도구들과의 관계성은 무엇이고, 그 가능성과 한계성은 무엇인가?

본고의 연구목적은 위 세 가지 질문을 중심으로 경험 학습에서 메타-학습으로의 학습이론의 확장성을 탐색해보고, 이러한 메타-학습의 원리들이 오늘날 인공지능 학습 알고리즘과 어떤 연관성이 있는지, 그리고 이 메타-학습이 다양하게 구현되고 있는 실제 모형인 컴퓨터-지원 협력학습의 사례를 들어 메타-학습을 위한 기술적 조건들과 한계점에 대해 논의하려는 것이다. 지금까지 교육공학 분야에서 컴퓨터-지원 학습에 대한 많은 연구들이 활발히 수행되어 왔고 최근 인공지능 및 기계 학습의 급격한 발달로 그 영향력이 점점 커지고 있는 상황 속에서, 컴퓨터-지원 학습이 순수한 인간학습의 원리와 구체적으로 어떤 관련성과 확장성을 갖는지에 대한 논의가 충분하지 않았다. 본고의 논의는 학습이론에서 출발하여 인지과학과 교육공학(컴퓨터공학) 분야의 융합적 접근이 필요한 주제로써, 그러한 개념적 확장과 새로운 이론적 관점을 제시한다는 차원에서 문헌분석을 주된 연구방법으로 삼았다.

이러한 본고의 논의는 인공지능에 기반한 기계 학습의 기본 학습 알고리즘으로 사용되고 있는 메타-학습이 기존의 인간 학습을 설명했던 경험학습 이론과 비교하여 어떤 확장성과 차별성을 갖는지를 논의함으로써, 인공지능 기술과 가상현실의 등장을 바탕으로 컴퓨터-지원 협력학습이 급속히 확대되는 기술기반 학습환경 속에서 학습이론에 대한 새로운 관점을 제시함으로써 이에 대한 학계의 논의를 촉발할 수 있을 것이다.

II. 본론

본론에서 본고는 우선 경험학습의 기본 원리와 한계점을 논의하고, 최근 기술적 학습환경 속에서의 학습 공간의 확장과 학습 양식의 변화를 설명함으로써 메타-학습의 관점이 왜 필요한지를 논의하고자 한다. 이어 메타-학습의 기본 구조와 주요 원리, 그리고 대표적 모형들을 제시하고, 마지막으로 메타-학습의 구체적 사례로서 컴퓨터-지원 협력학습의 기본원리가 메타-학습의 실천으로써 어떤 가능성과 한계성이 있는지 논의하고자 한다.

1. 경험학습에서 메타-학습으로

가. 경험학습의 원리와 그 한계

경험학습(experiential learning)은 기존의 인본주의적 학습이론들 중의 하나로서 매우 큰 설득력을 가지고 인간의 학습을 설명하는데 활용되어 왔다. 경험적 학습은 주로 경험(experiencing), 회고(reflecting), 사고(thinking), 그리고 수행(acting)이라는 네 가지 요소를

기반으로 한 학습을 의미하는데(Abbey et al., 1985; Hunt, 1987), 학습자가 새로운 것을 경험하고, 그 경험을 되돌아봄으로써 인지적 사고의 일부가 되고(일반화), 이를 새로운 환경에서의 실천(전이)을 통해 학습의 내용이 더욱 강화될 수 있다는 것이 기본 요지이다. 따라서 경험적 학습은 다양한 경험의 원천들이 학습자의 두뇌 속에서 어떤 인지적 과정을 거치며 순차적으로 이루어지고 있는지를 논리적으로 설명하고 있는데, 경험(experiencing), 회고(reflecting), 일반화 사고(thinking), 전이적 수행(acting)이라는 네 가지 요소들의 상호작용이 상호결합된 수준에 따라 확산(diverging: 경험+회고), 동화(assimilating: 사고+회고), 수렴(converging: 행동+사고), 그리고 적응(accommodating: 경험+행동)이라는 네 가지 유형의 학습 양식을 산출해내고 있음을 설명하고 있다.

이러한 경험적 학습이 오랫동안 현대적 학습이론 중의 하나로써 학습을 설명하는데 중요한 역할을 해왔지만, 본고는 이러한 경험학습이론이 갖는 한계성과 대안적 이론의 필요성을 다음 몇 가지 측면에서 논의하고자 한다.

첫째, 경험학습이론이 전제하고 있는 인간의 ‘경험’에 대한 인식이 인지적 경험, 대면적 경험, 개별적 경험, 그리고 맥락적 경험 등과 같은 관념에 국한되어 있다는 것이다. 즉, 경험학습이론의 핵심 요소들과 그것이 학습으로 이루어지는 과정에 대한 설명은 오늘날 학습자들이 세상을 경험하고 지식을 습득하는 새로운 방식을 설명하는데 한계가 있다는 것이다. 예를 들어, 오늘날 학습이론은 인지적 요인뿐만 아니라, 정서 및 감각적 요인들(기개, 열정, 자기주도성 등)의 역할에 더욱 주목하고 있고, 대면적 경험만이 아니라 비대면적 경험(온라인, 사이버 세계 등)이 확장되고 있으며, 개별적 경험보다는 집단적이고 협력적 학습의 역할과 중요성에 큰 관심을 가지고 있다.

둘째, 경험학습이론이 전제하고 있는 직접적 경험보다는 간접적 경험이 학습에 미치는 영향력에도 주목할 필요가 있다. 사실 기존의 경험적 학습과 관련된 이론들에서 다루어졌던 학습자 자기정체성(a learning self-identity), 학습의 나선곡선(the learning spiral), 학습스타일(learning style), 혹은 학습 공간(learning spaces) 등과 같은 개념들도 대부분 학습자의 학습을 감독하고 통제하는 과정을 포함한다는 점에서 메타-인지적 양상들을 포함하고 있다(Kolb & Kolb, 2009). 물론 이러한 메타-인지적 요소들은 경험학습의 ‘회고하기(reflection)’ 기능의 측면에서 어느 정도 설명할 수도 있지만, 기존의 메타-인지 이론은 여전히 인지 영역의 역할 차원에서 논의된 것이었다(Carruthers & Chamberlain, 2000; Sun et al., 2006). 대신 본고는 이 메타-인지가 학습에 기여하는 역할에 대한 논의를 메타적 경험공간에서의 학습(즉, 가상공간)과 통합적 메타-인지(즉, 인지적 요소의 경계를 넘어선 학습)의 차원으로 확장하고자 한다.

셋째, 기존의 경험학습은 인간의 경험과 학습의 과정에 작용하는 사물의 역할에 대해 충

분히 이해하지 못했다는 것이다. 즉, 인간의 경험이나 학습은 순수한 인간 이성의 작용으로만 이루어지는 것이 아니라 그 과정에서 수많은 다양한 환경적(시공간 및 가상) 요소나 물질적(매개, 도구, 경험의 정도와 양) 요소들의 영향을 받아 이루어진다는 것이다. 예를 들어, 학습의 물질성(materiality)과 양태성(modality)에는 학습에 관여하는 사물들의 연결망, 학습에 활용되는 기술적 도구들, 학습공간의 범주와 배치, 지식의 형태와 구조, 지식이 제공되는 방식 등의 모든 요소들이 포함될 수 있고(Sørensen, 2009), 이러한 요소들은 단순한 학습환경이나 도구로써 수동적 역할을 하는 것이 아니라 학습의 공동 주체로서 매우 능동적인 존재로 인식할 필요가 있다는 것이다(Johri, 2011). 이러한 인간의 경험과 학습에 관여하는 사물의 물질성과 주도적 역할에 대해서는 최근 사회물질이론을 통해 활발히 논의되고 있다(Fenwick, 2012; Hamilton, 2016).

정리하자면, 경험학습의 기본 원리는 바로 상황 학습(situated learning)이론의 관점을 바탕으로 한 것인데, 문제는 모바일 컴퓨팅, 디지털 매체, 가상현실 등과 같은 다양한 첨단 기술적 환경 속에서 살아가는 현대인들의 경험과 학습이 순수하게 ‘맥락화된’ 시공간적 장(field)에서 일어나는 것만은 아니라는 것이다(Krumsvik, 2009). 즉, 인터넷이나 디지털 매체에 기반을 둔 경험과 학습은 앞에서 설명한 고전적 경험의 원리로만 설명하기에 한계가 있기 때문에, 아날로그적 경험학습의 원리를 넘어서는 대안적 학습이론이 필요하다는 것이다(Wen & Looi, 2019). 이에 따라 본고는 오늘날과 같은 디지털 환경 속에서 현실의 시공간에 얽매이지 않고 컴퓨터-지원 학습이 보편화된 맥락 속에서의 학습을 보다 포괄적으로 설명하기 위한 학습원리를 메타-학습의 개념으로 탐색하고자 하는 것이다.

나. 경험 공간의 확장: 현실 공간에서 가상 공간으로

현대 사회에서 인간의 경험이 이루어지는 공간적 배경은 급속도로 변하고 있고, 그 대표적인 사례가 바로 현실 세계에서 가상 세계로의 경험의 확장이다. 원래 ‘가상(virtual)’이라는 용어는 ‘거의 현실 같은’이라는 의미를 가진 것으로, 이미 19세기 중반인 1852년에 스테레오스코피(Stereoscopy)라는 3D 디스플레이 기술을 통해 세상을 입체적으로 경험해보려는 공학적 시도가 이루어지기 시작하였다. 이후 20세기 중반부터 과학자들은 이 기술을 헤드마운트 디스플레이(Head Mount Display: HMD)에 적용하여 시각적 수준에서 가상현실을 구현하려는 장치를 개발하기 시작하였다. 이러한 기술적 장치들의 등장은 1980년대에 들어서면서 가상현실 기술에 대한 대중적 관심을 끌기 시작하였고, 이 가상현실을 다룬 SF 작품들(공각기동대, 매트릭스, 토탈 리콜 등)이 1980년대 후반부터 쏟아져 나오게 된 것이다(Seo, 2016).

이러한 가상현실의 등장은 인간의 경험과 학습의 공간적 장이 현실의 세계에서 가상의 세

계로 확대될 수 있음을 보여주는 분명한 사례이다. 개념적 측면에서 메타-학습은 다음 세 가지 개념적 틀 속에서 논의될 수 있을 것이다:

i) 인지심리학: 상위 인지의 특징들 중 하나로써, 제한된 데이터(정보들)를 바탕으로 새로운 개념을 이끌어내는 것(Gershman et al., 2015).

ii) 컴퓨터 공학: 기계학습의 핵심 원리들 중의 하나로써, 분산적 과제 수행을 통해 이루어 내는 학습(Nichol et al., 2018).

iii) 교육공학의 학습이론: 메타-버스와 같은 가상 공간이나 컴퓨터-지원 학습환경에서의 탈맥락적이고 간접적이며 학습을 설명하는 하나의 원리.

메타-학습의 위 세 가지 개념적 범주를 놓고 볼 때, 본고는 메타-학습이 인지심리학(i)의 이론에서 출발하여 컴퓨터 공학(ii)에서의 인공지능 학습 원리로서 활발히 활동되고 있다는 사실을 기반으로, 두 가지 개념이 교육공학의 학습이론 차원에서 어떻게 통합적으로 적용될 수 있는지를 논의하고자 하는 것이다. 특히 가상현실의 등장으로 인한 학습환경의 확장은 인간 경험과 학습원리에도 큰 변화를 가져왔고, 이러한 변화 속에서 메타-학습이론은 경험 학습이론의 다음과 같은 한계를 극복할 수 있는 차별적 장점이 될 수 있는 것이다.

첫째, 기존의 경험학습 이론은 경험이 이루어지는 장을 주로 신체적 경험이 일어날 수 있는 물리적 장에 국한하고 있었다. 물론 경험학습은 이론적으로는 신체적 경험이 아닌 인지적 경험이나 감성적 경험을 포함하고는 있지만, 실제로는 경험이 이루어지는 공간 자체가 물리적으로 제한되었기 때문에 경험이 이루어지는 방식이 대부분 ‘간접적인’ 경험(즉, 개념 학습)에 머무른다는 것이다. 다시 말해서, 물리적으로 제한된 공간에서 다양하고 복잡한 학습 경험을 제공하기 위해서 다채로운 학습 경험들을 오히려 개념화 및 관념화하는 경향이 생겼다는 것이다. 학습을 지식 획득(acquisition)의 관점으로 바라봤던 전통적인 학교 학습에서 이러한 간접적인 학습은 큰 문제가 없었지만, 학습을 참여(participation)로 본다면 간접적인 경험은 한계를 가질 수밖에 없다. 근대적 학교교육에서의 학습 내용이 대부분 활자의 형태로 개념화하여 제시되고 있는 여러 이유 중의 하나가 이러한 학습이 이루어지는 교실 공간의 물리적 제약성이다(van Merriënboer et al., 2017). 요컨대, 경험학습이론은 경험이 일어나는 현실 세계의 공간적 제약성 때문에, 그 본래적인 지향점인 다채롭고 풍부한 경험의 원천을 학생들에게 제공해주지 못하고 있었다는 것이다. 반면 메타-학습은 다양한 시뮬레이션 학습의 사례에서 잘 보여지듯이, 인간이 직접 참여하거나 경험할 수 없는 환경에서 학습을 간접적으로 수행하면서도 의미 있는 학습 결과를 얻을 수 있기 때문에, 기계 학습의 영역(Kim, 2020; Moon et al.) 뿐 아니라 현실 학교교육에서도 활발히 시도되고 있다(Han, 2020; Hyun et al., 2019). 예를 들어, 공학도들에게 산술식(calculus)을 가르치기 위해 메타-버스 공간(opensim)에서 가상학습실험실(virtual learning laboratory)을 운용하였을 때, 학생들이 보

다 협력적이고 상호작용적이며 역동적으로 학습하는 고정을 확인할 수 있다는 것이다 (Tarouco et al., 2013).

둘째, 가상현실로의 경험 공간을 확장하는 것은 공간과 시간의 밀접한 연관성으로 인해 시간적 제약을 넘어서는 효과도 가져다준다. 기존의 경험학습 이론에서는 시간성(temporality)이 순차성(sequence: 경험들의 논리적 순서)과 지속성(length: 경험의 길이)의 차원에서만 암묵적으로 고려되었을 뿐이었다. 반면 현대인이 일상적으로 경험하는 다양한 양상의 시간성에는 동시성(simultaneity), 즉시성(immediacy), 시간초월성(temporal transcendence) 등의 요인들을 존재하는데(Steedman, 1997), 이러한 측면을 과거의 경험학습이론을 충분히 논의하지 못하였던 것이다. 따라서 경험이 학습으로 어떻게 이어지는가를 이해하기 위해서는 다양한 경험적 요소들의 인지적 관계성뿐만 아니라 정서 및 감각적(emotional & sensual) 관계성에 대한 설명이 추가되어야 한다. 예를 들어, 인간이 외부로부터 자극을 수용하는 과정에 대한 인지과학 및 신경과학 연구들은 미시시간성(micro-temporality)이라는 개념을 제시하고 있는데, 이는 1에서 1/100 초 사이의 세밀한 시간 단위의 자극에 대해 인간이 어떻게 반응하고 그것이 인지와 사고에 영향을 미칠 수 있는지를 연구한다(Hansen, 2013). 흔히 광고 매체의 효과나 소셜미디어의 영향력에 대한 연구에 적용되고 있는 미시시간성의 개념은 최소한 몇 초가 소요되는 인지적 수준의 학습보다는 순간적이고 감각적인 신체적 및 정서적 차원의 경험(자극)들이 인간의 정보처리나 학습, 그리고 궁극적으로 행동에 미치는 영향력이 무엇인지를 설명해줄 수 있는 것이다(Karppi & Crawford, 2016). 요컨대, 동시성, 즉시성, 시간초월성, 그리고 미시시간성 등의 시간성 요인들은 기존의 경험학습에서는 충분히 이해되거나 다루어지지 못한 변인으로써, 오늘날 첨단 기술적 장비들을 통해 세상과 소통하고 가상적 공간을 경험하는 학습자들의 학습을 설명하는데 반드시 필요한 개념인 것이다. 예를 들어, 언어학습 및 외국어학습의 영역에서 학생들이 미시시간성의 단위로 제공되는 학습 자극들(소리, 영상 등)에 대해 어떻게 반응하고, 그 학습효과를 어떠한가에 대한 연구나 유아 교육에서의 다중감각을 활용하기 위해 메타-버스의 기술을 도입하는 것 등(Chang, 2020; La & Lee, 2018; Shin, 2020)은 현실 세계의 자원으로는 다루기 힘든 자극들을 기술적 도구를 활용하여 적용하는 메타-학습의 의미 있는 연구주제가 될 수 있다.

셋째, 대면적 만남에 기반한 경험에서 비대면적 만남을 통한 경험으로의 확장이다. 지난 2년여간 전 세계적으로 번졌던 COVID-19 유행병은 사회 거의 대부분 영역에서 인간들 간의 만남과 교류의 방식을 대면 중심에서 비대면 중심으로 전환시켰고, 많은 전문가들은 앞으로 이러한 변화가 전염병의 유무와 상관없이 하나의 시대적 추세가 될 것이라고 전망하고 있다 (Low & Smart, 2020). 이러한 비대면적 경험의 확장은 기존의 대면적 만남(face-to-face contact)에 기반한 학습이론이 비대면적 상황이나 환경에 맞게 수정될 필요성과 비대면적

경험의 본질이 무엇인가에 대한 논의를 요구하고 있다. 그런 측면에서 지난 30여 년간 이루어졌던 가상현실과 관련한 기술과학, 정보통신, 미디어 및 소통 분야의 연구들은 기술적 장비나 환경이 제공하는 비대면적 가상 환경이 인간의 경험을 얼마나 올바르게 재현하거나 촉진할 수 있는지에 대한 충분한 가능성을 보여주고 있다(Scavarelli et al., 2021). 사실 이러한 비대면적 학습의 확장은 메타-학습의 가장 중요한 배경적 요인이 되고 있다. 줌(Zoom)과 같은 비대면 영상 회의 및 교육이나 다양한 목적에 기반한 메타-버스 플랫폼의 증가, 그리고 학습공간의 변화에 대한 연구들은 교육공학에서의 메타-학습의 잠재력을 확장시키는 연구주제가 되고 있다(Lee, 2021; Yang et al., 2019).

이러한 가상공간이라는 개념은 가상공간을 실현시켜주고 경험하게 해주는 다양한 기술적 도구들의 출현으로 점점 사람들의 일상생활 속에서 사용되기 시작했는데, 이를 잘 보여주는 용어가 바로 메타-버스(meta-verse)이다. 메타-버스란 실제 세계를 모사하거나 참조한 다양한 수준의 가상공간을 컴퓨터 기술을 통해 구현함으로써 여러 이용자가 각자의 목적에 따라 학습, 소통, 여가활동 등을 수행할 수 있는 공간이라고 이해될 수 있다. 이 메타-버스 속에서 이용자들은 각자의 아바타(avatar)를 통해 실제 세계에서는 수행하기 어려운 수준의 광범위한 경험(날기, 물속 걷기, 공간이동, 아바타 창조 등)을 창의적이고 몰입적으로 경험해볼 수 있다(Jaynes et al., 2003). 이러한 메타-버스는 초기에는 창의성의 발현이나 게임 등과 같은 예술적이거나 유희적인 목적을 위해 주로 개발되었지만, 점차 메타-버스가 현실을 재현하는 수준이 높아짐에 따라 산업, 통신, 교육, 그리고 과학적 연구와 같은 실질적인 목적으로 활발히 개발되기 시작하였다(Sparkes, 2021). 그렇다면 이러한 메타-버스가 학습의 측면에서 어떤 구체적인 변화를 유발하고 있는지 다음 절에서 살펴보자.

다. 학습 양식의 변화

메타-버스 속에서 이루어지는 학습은 기존의 경험학습과 같은 현실 기반 학습과는 매우 다른 성격을 띠 수밖에 없다. 메타-버스라는 시공간적 장(field)은 현실 세계의 물리적, 사회문화적, 경제적 구속에서 상대적으로 자유로면서도 몰입감이나 현존감을 높여주기 때문에, 공간적 및 시간적 무제한성, 몰입성, 복합감각성, 상호작용성, 자기주도성 등의 성격을 띠게 된다(Louro, 2009; Persico & Steffens, 2017). 이러한 메타-버스 환경의 여러 특징들을 종합적으로 고려할 때 메타-버스 속에서의 학습을 이해하기 위해서는 학습에 대한 다음과 같은 인식의 변화가 요구된다.

(1) 지식기반학습에서 실천기반학습으로의 전환

학습을 위한 경험이 이루어지는 공간이 실질적으로 확장될 수 있고, 그에 따라 기존의 학습 방식보다는 훨씬 실천기반 학습으로의 전환이 촉발될 수 있다. 실제로 메타-버스를 구현하는 여러 방식인 시뮬레이션, 증강현실, 가상세계 등을 기반으로 한 문제해결학습(problem-solving learning)의 실천적 사례들이 많이 연구되고 있다(Kemp & Livingstone, 2006; MacCallum & Parsons, 2019; Maharg & Owen, 2007). 예를 들어, 가상 세계 게임으로 잘 알려진 세컨드 라이프(Second Life)는 다음과 같은 교육적 가능성들을 가지고 있다.

첫째, 학생들은 가상세계의 개발자가 미리 설계한 기본 환경 세팅 속에서 직접 자신만의 세계를 구축해나갈 수 있고, 교사들도 자신의 전공 교과 지식에 부합하는 수업 주제나 수업 내용을 독자적으로 구상하여 3D 환경 속에서 구현해볼 수 있다. 예를 들어, 뉴욕 로스쿨은 민주주의 섬(democracy island)이라는 가상공간을 만들어 도심 속에 대법원을 설계하여 다양한 도시문제를 해결하기 위한 시민검토단을 운영할 수 있게 하였다(Kemp & Livingstone, 2006).

둘째, 세컨드 라이프는 사용자가 수업 내용을 수정할 수 있는 간단하면서도 유용한 툴을 제공해준다. 예를 들어, 사용자들은 기초적 3D 설계의 단위인 prism(큐브, 구체, 삼각뿔 등)을 가지고 아이템을 생성하고, 이를 메뉴판의 기능을 통해 그 크기 색깔, 모양을 변형하여 원하는 사물들을 구현해 낼 수 있다. 만일 전문 설계자들의 도움을 받으면 훨씬 더 정교하고 실사에 가까운 교실 환경과 상호작용 가능한 사물들을 구현할 수도 있다.

셋째, 아마추어용 프로그래밍 언어를 사용하여 복잡한 상호작용도 가능한 앱(app)을 제작할 수 있다. 예를 들어, 초보자용 린덴 프로그래밍 툴(Linden scripting language)을 이용하면 학생들이 교사가 설계한 지적인 수업경험이나 활동들에 대해 보고 듣고 만지고 느끼는 가상적 조작을 통한 학습 경험을 수행할 수 있다(Resnick, 1998).

위와 같이 가상 세계는 실제 세계에서 시도해보기 어려운 학습경험들을 컴퓨터 기술을 활용하여 가상현실 속에서 구현해봄으로써, 학생들이 수업 내용을 현실감 있게 경험해보는 것이 실제 수업에서보다 오히려 유리할 수 있다는 것이다.

(2) 인지적 학습에서 직관적, 통찰적 학습으로의 전환

1950년대 후반부터 등장하게 된 인지주의(cognitivism) 학습이론은 행동주의 이론에서 벗어나서 명시적이고 관찰가능한 행동의 학습이 아니라, 학습자의 내면(인지구조) 속에서 일어나는 학습에 보다 집중하고자 생겨난 것이다(Tennyson, 1990). 그리고 인지주의 학습이론

은 학습자의 의식 수준에서 지식이 다루어지는 방식과 학습과정을 기억(memorization), 처리, 추출(retrieval) 등과 같은 명시적인 정보의 흐름으로 설명하려는 정보처리이론에 크게 영향을 받아 구축되었다. 그로 인해 인지주의 학습이론은 사고력, 문제해결력, 언어 능력, 개념 형성, 그리고 정보처리 등을 핵심 개념이자 학습의 목표로 삼게 되었다(Snelbecker, 1983).

하지만 인간의 학습과정을 위와 같은 인지주의적 이론이나 정보처리이론을 통해 설명하려는 입장은 인간을 개별적이고 독립적으로 사고하는 이성을 가진 존재로 간주했던 개인주의 심리학의 영향을 받았던 것이다(Raty & Snellman, 1992). 이를 대신하여 1980년대 이후 활발히 논의되기 시작했던 사회심리학(social psychology)은 학습에 인지적 요소 만이 아니라 사회문화적이며 정서적인 요소가 매우 큰 영향력을 미친다는 사실을 깨닫기 시작했다. 그 이후 학습을 설명하는데 정서적 요인(affective learning: Hamm & Vaitl, 1996)이나 분산지능(distributive intelligence) 혹은 집단지성(collective intelligence)과 같은 사회적 요인들의 역할이 연구자들의 관심을 끌기 시작했고, 특히 정서적이고 문화적 요인은 학습자의 직관이나 통찰력을 자극하는데 훨씬 더 중요한 역할을 할 수 있다는 연구가 생겨나기 시작했다(Csikszentmihalyi & Sawyer, 2014).

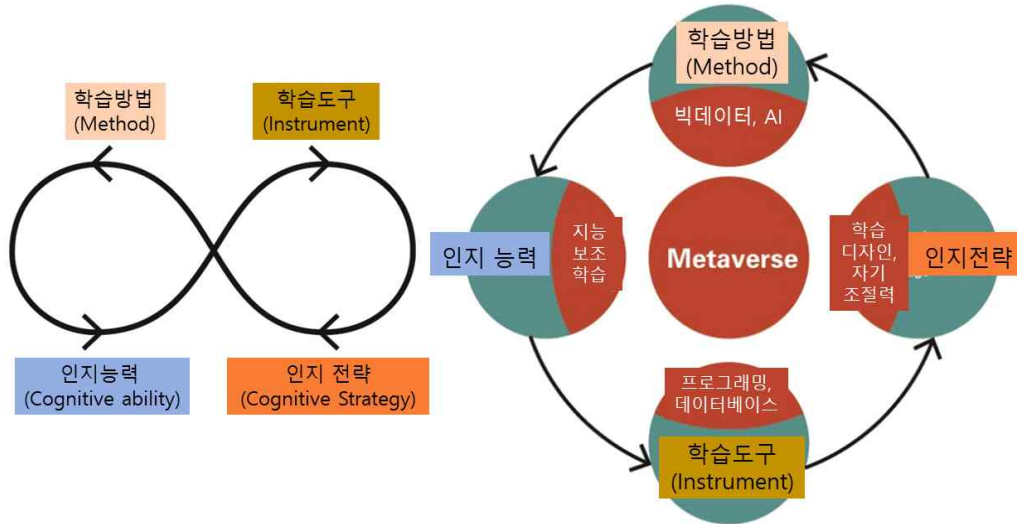
위와 같은 심리학적 이론의 변화를 감안하고 볼 때, 직관력이나 통찰력이 학습의 중요한 요인으로 작용한다는 것과 메타-버스와 같은 가상현실을 활용한 학습이 그러한 능력들을 증진시키기 위한 효과적인 전략이 될 수 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. 몇 가지 예를 들자면, 메타-버스 속에서 이루어지는 학습은 물리적 공간의 제약을 받거나 시간적 제한을 받지 않고 이루어질 수 있으며, 시청각, 촉각, 후각, 그리고 공감각적 자극들을 큰 위험에 노출되지 않고 원하는 만큼 적절하게 제공할 수 있으며, 가상현실 및 증강현실 기술을 활용하여 학생들의 상상력이나 감각적 경험을 극대화시킬 수 있다(Ayiter, 2011; Griffiths & de Freitas, 2007). 또한 메타-버스 속에서의 사회적 교류는 뉴미디어를 통해 새로운 사회적 관계망을 형성하기 쉽고, 기성세대의 사회적 규제나 관습에서 벗어나서 훨씬 자유로운 소통이 이루어짐으로써 창의성 발현에 도움이 되며, 이용자의 몰입감이나 참여도도 상대적으로 훨씬 높게 이루어진다(Kye et al., 2021). 특히 빅데이터나 인공지능 등과 같은 정보통신 기술의 발달로 인해 인간의 지적활동이나 정보탐색 활동이 과거보다 훨씬 용이하고 효율적으로 이루어질 수 있기 때문에, 미래의 학습은 논리적 작업보다는 직관성, 창의성, 감각성 등을 활용하는 것이 훨씬 유용한 학습활동이 될 수 있다는 것이다(Crisp & Turner, 2020; Hodgetts et al., 2020).

(3) 구성주의 학습에서 기술기반 학습으로의 전환

구성주의(constructivism)는 오늘날 학교현장에서 가장 널리 적용되고 있는 학습이론으로, 선행 학습을 기반으로 학습자의 주도성에 따라 맥락적인 경험과 직관을 통해서 학습자가 자신만의 의미를 생성하는 것을 목표로 한 학습이론이다(Bada & Olusegun, 2015). 즉, 구성주의는 완결성을 가진 지식을 학습자의 머릿속에 축적하는 것이 아니라, 학습자가 외부 자극(경험, 정보, 자원)이 갖는 의미를 탐색하면서 능동적으로 지식을 구성해나간다고 이해한다(Fosnot, 2013). 따라서 구성주의적 학습이론은 학습자의 주체적이고 능동적인 역할을 중요시하기 때문에, 지식 자체나 학습의 도구의 역할에 대해서는 크게 관심을 두지 않고, 현실적이고 맥락적인 의미를 갖는 학습 경험을 중요시한다. 문제는 학생들이 학습하는 환경에서 그러한 현실적이고 맥락적인 학습 장면을 구현하기가 쉽지 않다는 것이다. 예를 들어, 구성주의 학습이 실효성 있게 이루어지기 위해서는 외국인이나 외국의 현실적 장면을 구현하거나(외국어 교과), 실험이 이루어지는 물리적 환경을 실제 그대로 재현하거나(과학 교과), 실제 사회적 혹은 역사적 장면을 실제로 재현하거나(사회과 및 역사과) 하는 환경 조성이 이루어져야 한다는 것이다. 이러한 학습환경이 학교교육의 장에서 자연스럽게 이루어질 수 있도록 하는 것이 바로 기술기반학습(technology-based learning)의 목적이다(Kearsley & Shneiderman, 1998; Mandinach & Cline, 2013).

기술기반 학습은 학습자의 역할만큼 학습 매체나 학습을 보조하는 여러 가지 기술적 도구들(컴퓨터, 스마트/유비쿼터스 기기, PPT, 각종 앱 등)의 역할과, 학습자와 학습도구들의 상호협력적 작용을 중요시한다(Ghavifekr & Rosdy, 2015). 메타-버스에서 이루어지는 학습도 기술기반 학습의 일종으로, 메타-버스는 기술적 환경을 활용하여 학습의 유형이나 학습 목표에 따라 적합한 학습환경을 재현하면 매우 효과적인 학습의 도구가 될 수 있다. 이때 학습은 막연히 학습자의 정신(mind) 속에서만 구현된다고 간주하는 것이 아니라, 학습이 이루어지는 과정이나 장면을 가상현실 기술을 통해 디지털로 재현할 수 있다는 것이 메타-버스의 가장 중요한 역할이다.

메타-버스는 위와 같은 기술적 매체를 활용한 학습의 외부화를 가능케 함으로써, 학습자의 인지 속에서 일어나는 학습과정을 명시화하고 구체화하며, 재현가능성을 높여주는데 결정적인 역할을 하고 있다. 메타-버스의 이러한 특성이 바로 인간학습의 메타-학습적 성격을 보여주는데, 그 대표적 예가 바로 최근 교육공학에서 활발히 논의되고 있는 다음 [그림 1]과 같은 메타-버스를 활용한 교수학습 설계(instructional design)의 모형이다.



[그림 1] 메타-버스를 위한 교수디자인 구조
 출처: Revised from Li & Xiong(2022), pp. 350-352.

위 [그림 1]은 메타-버스를 활용한 교수설계 디자인의 네 가지 요소(학습방법, 학습도구, 인지능력, 인지전략)와 그 요소들이 메타-버스라는 기술적 공간에서 어떤 방식으로 구현될 수 있는지를 보여주고 있다. 즉, 학습자는 자신의 인지능력을 기반으로 학습방법이나 학습도구를 적절히 활용한 인지 전략을 수립하여 학습을 수행해나가야 하는데(왼쪽 그림), 메타-버스라는 가상적 공간은 학습자가 자신의 인지능력을 기반으로(지능형 보조 학습: intelligent assisted learning), 컴퓨터 프로그래밍이나 데이터베이스를 활용하거나(학습도구), 빅데이터나 인공지능 알고리즘을 활용하여(학습방법) 학습과정을 디자인하고 자기조절력을 바탕으로(인지전략) 학습을 수행해나가는데 유용한 도구가 된다는 것을 보여주고 있다.

물론 경험학습과 메타-학습은 각자의 장단점을 가지고 있기 마련이고, 메타-학습은 아직 이론적 타당성이나 실제 효과의 사례들이 충분히 축적되어있지 않기 때문에 메타-학습이 경험학습을 완전히 대체하거나 무리하게 적용하는 것은 바람직하지 않을 것이다. 특히 메타-버스라는 가상적 환경들이 컴퓨터나 미디어와 같은 기술적 매체에 크게 의존하여 구성되기 때문에, 메타-학습의 효과나 타당성은 학습 분야나 난이도, 가상 환경을 구축하기 위한 경제적 효율성이나 매체에의 접근성, 그리고 사용의 숙련도에 따라 세밀하게 구분되어 적용되어야 할 것이다(Kye et al., 2021). 이러한 상황을 염두에 두고, 본고는 다음 장에서 경험학습의 한계를 넘어서는 메타-버스에서의 학습이 어떤 구체적 원리와 유형들을 기반으로 이루어질 수 있고, 그것이 ‘메타-학습’의 차원에서 어떻게 이해될 수 있는가를 논의해보고자 한다.

2. 메타-학습의 기본 원리와 유형

본 장에서는 인공지능의 발달과 메타-버스의 등장이라는 새로운 학습환경 속에서 기계 학습과 인간학습의 원리를 통합적으로 이해하는 차원으로 메타-학습의 개념을 정의하고, 그 기본 원리와 대표적 학습유형이 무엇인지 논의해보기로 한다. 본 장의 논의를 위해 메타-학습에 대한 학계의 합의된 개념을 소개하는 문헌들을 참조하였고, 메타학습의 기본 요소([그림 2])와 절차([그림 3])를 보여주는 대표적인 모형을 사례로 소개하였다. 아울러 메타-학습의 유형에 대해서는, 메타-학습의 원리를 기계 학습 알고리즘의 개발에 활발히 적용하고 있는 컴퓨터 공학 분야에서의 최근 논문들을 검토하였고, 그 알고리즘이 주로 활용하고 있는 메타-학습의 대표적인 모형들 네 가지를 선별하였다. 최근 기계학습 알고리즘의 원리들이 매우 다양하게 개발되고 있지만, 본고는 인간학습에서도 발견될 수 있는 메타-학습적 원리들(외적 피드백, 분산적 자료처리, 연합/협력적 학습, 자기-적응적 학습)을 원천적으로 반영한 모형을 선별하는데 집중하였다. 마지막으로 이 각각의 모형들이 메타-학습의 차원에서 인간학습과 어떤 타당성을 갖는지를 설명하고자 하였다.

가. 메타-학습의 개념과 구조

초기 기계학습 이론에서는 인간의 사고 능력과 컴퓨터의 연산 능력의 차이를 구분함에 있어서 처리할 수 있는 데이터의 양과 속도, 그리고 동시 처리능력의 차이로 판단하였다. 하지만 최근의 기계학습 이론은 여기에 인간의 사고방식과 경험치(experience)에 해당하는 변수들을 더한 인공지능의 개념이나 딥 러닝(deep learning) 등의 알고리즘을 통해 기계학습의 속도나 정확성과 같은 효율성뿐만 아니라, 인간의 직관력과 통찰력에 버금가는 창의적 학습 능력을 구현하고 있다. 이러한 기계 학습의 창의성 증진에 기여하는 여러 원리들 중 하나가 바로 메타-학습(meta learning)이다. 메타-학습의 출발은 컴퓨터 연산의 수행 속도와 수행 정확성을 향상시키기 위해 인공지능 알고리즘 개선 차원에서 개발된 기계 학습의 한 전략이었다(Chan & Stolfo, 1993). 이러한 메타-학습은 기계 학습에 대한 접근방식에 따라 약간씩 다르게 분류될 수 있지만, 가장 핵심적 원리는 분산적 과제 수행을 통해 이루어내는 학습(Nichol et al., 2018)을 의미한다. 메타-학습은 이러한 분산적 과제 수행의 원리를 기초로 기계학습이 넓은 범주의 학습과제들을 수행하면서 얻는 데이터들(meta data)을 체계적으로 수집하고 분석함으로써 새로운 과제를 보다 빠르고 효율적으로 처리하는 능력을 얻는 것(Vanschoren, 2018)으로 정의될 수 있다.

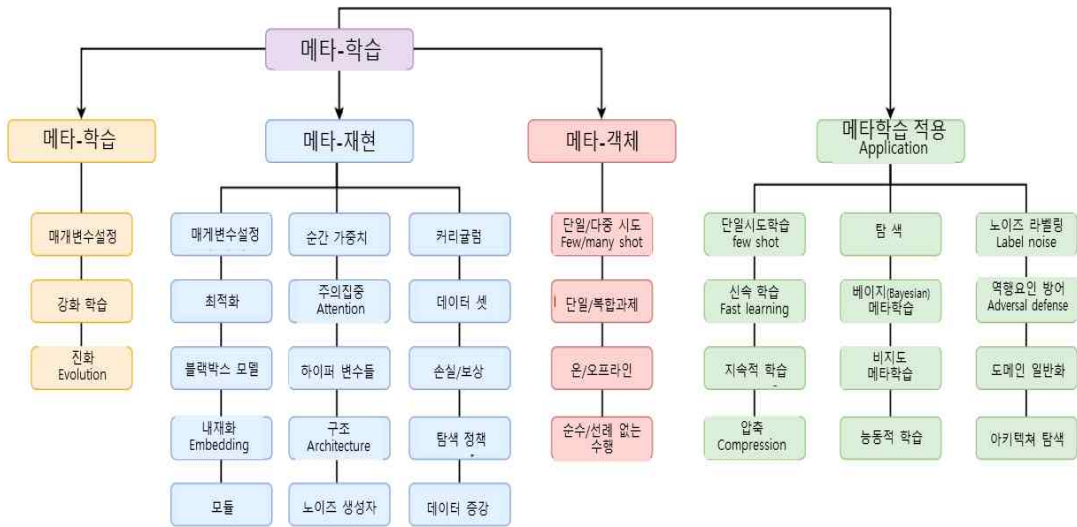
물론 기계 학습을 통해 구현하고자 했던 메타-학습의 원리들은 인간의 사고방식을 모사

한 것이기 때문에, 메타-학습(meta-learning)과 별개로 메타 사유(meta-reasoning)의 과정도 존재하다. 이에 따라 기계 학습에서는 메타-학습은 초기 데이터를 보다 효과적으로 활용하기 위한 학습환경을 구축하는 것으로, 메타-사유는 연산을 위해 자원을 어떻게 분배할 것이냐의 문제로 구분하여 정의한다(Raja & Cox, 2011). 다시 말해서, 메타-사유는 사유에 대한 사유(reasoning about reasoning), 즉 어떻게 사고할 것인가에 대해 지적인 결정을 내리는 것이고, 인공지능에서 메타-사유는 특정 성능의 하드웨어를 가지고 주어진 컴퓨팅 환경에서 어떻게 합리적 계산을 해낼 것인가를 실시간으로 점검하는 역할을 한다(Russell, 1997). 여기서 메타-사유가 인지적 자원의 효율적 활용에 집중하는데 반해, 메타-학습은 다수의 학습 자료들을 동시에 활용하면서 그러한 다수의 학습이 갖는 공통점에 주목하여 통합적 학습을 보다 신속하고 효과적으로 이끌어내는 것을 목표로 한다(Griffiths et al. 2019).

본고에서는 위와 같은 메타-사유(자원의 분배에 대한 전략)와 메타-학습(데이터의 처리에 대한 전략)을 통합하여 최소한의 학습 자료를 가지고 최대한의 학습 성과(예, 문제해결을 위한 통찰)를 이끌어내는 것을 기계 학습으로서의 메타-학습의 기본 원리로 인식하고자 한다. 왜냐하면, 본질적으로 인간의 학습능력에서도 이러한 두 가지 전략이 혼용되어 이루어지기 때문이다. 이처럼 인간 학습의 가장 중요한 특징 중 하나가 제한된 데이터(정보들)를 바탕으로 새로운 개념을 이끌어내는 것이기 때문에(Gershman et al., 2015), 최근 기계학습도 바로 이러한 ‘최소 자료를 바탕으로 한(few-shot) 학습’의 전략을 탐색하는데 집중하고 있다(Vinyals et al., 2016). 그리고 이러한 ‘학습하는 법을 학습하기(learning to learn)’란 개념을 가진 메타-학습의 개념이 인공지능 ‘딥 러닝’ 알고리즘의 기본원리가 되고 있다는 것이다.

이러한 메타-학습은 다양한 구조로 설계되어 기계 학습의 원리로 활용되는데, 메타-학습에 어떤 요소들이 개입될 수 있는지를 보여주는 일례를 들면 다음 [그림 2]와 같다.

[그림 2]는 기계학습의 한 방식으로서의 메타-학습이 어떤 요소들로 이루어져 있는가를 학습 알고리즘의 요소(메타-학습, 메타-재현, 메타-객체)와 메타-학습의 차원의 네 가지 요소를 중심으로 보여주고 있다. 여기서 기계(인공지능)의 메타-학습과 인간의 메타-학습의 차이점은 기계 학습은 그림 왼쪽의 세 요소(메타-학습, 메타-재현, 메타-객체)가 구체화되어 디지털적으로 처리와 통제가 가능한 알고리즘이 설계되고 적용되고 있지만, 인간의 메타-학습은 인간의 머릿속에서 그 과정에 어떻게 일어나고 있는지를 모르는 상태에서 오른쪽의 메타-학습의 적용에 대한 이론적 논의를 시작해볼 수 있다는 것이다. 이처럼 기계학습을 통해 구현되고 있는 메타-학습의 원리와 매커니즘이 어떻게 인간 학습에서 확인되고 적용될 수 있을지를 탐색해보려는 것이 본고의 핵심 목표이다.

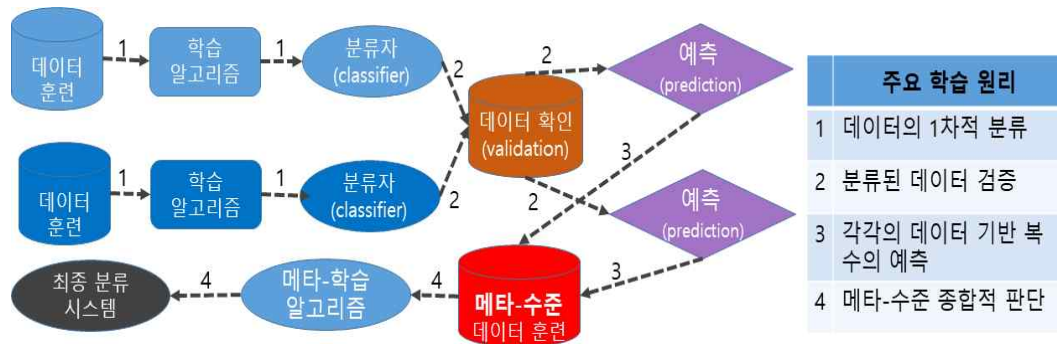


[그림 2] 메타-학습의 구성도

출처: Revised from Hospedales et al.(2020), p. 6.

이처럼 인간 사고의 기본 특성인 메타-학습의 원리가 인공지능 딥러닝에 활발히 적용됨으로써 인간의 학습능력을 훨씬 뛰어넘는 기계 학습의 알고리즘이 실현되고 있음에도 불구하고, 지금까지의 학습이론에서는 이러한 메타-학습의 구조나 원리에 대한 논의가 충분하지 이루어지지 않았다. 그 가장 대표적인 이유는 기존의 학습이론은 인본주의적 관점과 사회문화적 이론(socio-cultural theories)의 입장에서 ‘맥락화된 경험(contextualized experience)’이 학습의 주요 원천이라고 보았고, 학습에 기여하는 환경적 요소나 학습내용의 맥락적 의미가 학습에 기여하는 효과에만 집중하였던 것이다(Mahn, 1999; Scott & Palincsar, 2013). 하지만 과연 인간 학습자들이 앞 절에서 논의한 경험학습 이론이 설명하는 것처럼 항상 독립적이고 직접적이며, 단계적인 사고의 과정을 거치면서 학습을 수행하는 것일까? 사실 인간들은 간접적인 경험이나 집단적인 상호작용, 그리고 무의식적인 혹은 기계적이고 습관적인 행동을 통해서도 다양한 유형과 방식의 학습을 수행하고 있는데, 이러한 간접적, 분산적, 집단적 혹은 무의식적 학습의 양상들을 설명하기 위해서 메타-학습의 관점이 필요하다는 것이다.

메타-학습이 구체적으로 어떻게 이루어지는가를 보여주는 전형적인 사례로 다음 [그림 3]을 참조해볼 수 있다.



[그림 3] 메타-학습 수행의 기본 절차

출처: Revised from Prodromidis et al.(2000), p. 5.

즉, 메타-학습은 일반적으로 크게 네 단계—i) 데이터를 기본 학습알고리즘을 통해 1차적으로 분류하는 단계, ii) 분류된 자료를 데이터베이스의 정보를 참조하여 검증, iii) 확인된 데이터를 기반으로 새로운 예측 (문제해결을 위한 추론), 그리고 iv) 복수의 예측들을 통합하여 메타-수준의 학습 알고리즘을 통한 최종 분류—로 이루어질 수 있다.¹⁾ 메타-학습은 이러한 과정이 수행되는 동안 학습속도를 보다 향상시키기 위해 병렬적 학습을 시도하고, 이를 종합하여 순차적 학습에 뒤처지지 않는 학습 결과의 정확성을 유지하게 된다(Chan & Stolfo, 1993).

위와 같은 메타-학습이 기존의 경험학습의 한계점을 극복한 대안적 학습이론으로써 보다 효과적으로 작동하기 위해서는 다양한 기술적 도구의 도움을 받거나 능동적이고 계획적인 학습전략을 채용할 필요가 있다. 이러한 학습 조건이 구비되는 환경을 메타-학습환경이라고도 부를 수 있는데(Sirkemaa, 2006), 이 메타-학습환경을 구성하는 요소에는 사용의 편의성, 안정성(reliability)과 신뢰성, 자료의 첨가나 수정가능성, 개인적 선호도에 맞춤가능성, 그리고 피드백과 학습 동기부여 제공의 여부 등이 포함된다(Sumner, & Taylor, 1998; Scott, & Phillips, 1998).

요컨대, 지금까지 설명한 메타-학습이 시사하는 것은 인간의 학습이 반드시 인간의 이성적, 능동적, 직접적 작용에 의해서만 이루어지는 것이 아니라, 다양한 환경, 도구, 전략적 수단에 의존하여 간접적으로 이루어지는 과정으로 이해할 필요가 있고, 이러한 메타적 학습 전략을 활용하는 것이 보다 효율적이고 고차원적 학습이 될 수 있다는 것이다. 다음 절에서

1) 위와 같은 메타-학습의 원리를 통해 생성해낼 수 있는 분류자(classifier)에는 의사결정 계통도 (decision trees), 학습 규칙(rules), 인공신경망(neural networks), 원격 통제 기능(distance functions), 그리고 확률분포(probability distributions) 등이 포함된다.

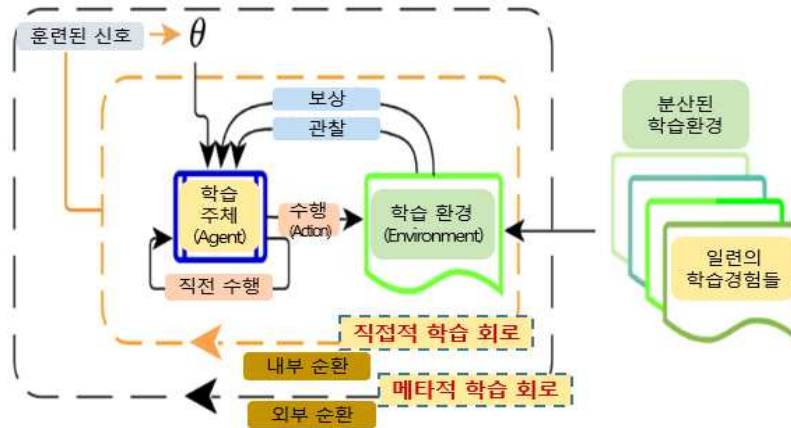
는 이러한 메타-학습이 기존의 경험학습과는 차별화된 어떤 원리를 통해 수행되는 것인지에 대해 몇 가지 학습의 원리를 사례를 들며 설명하도록 하겠다.

나. 메타-학습의 주요 원리와 모형

본고는 메타-학습의 원리를 활용한 인공지능 학습의 알고리즘들 중에서 인간의 메타-학습을 설명할 수 있는 기본 원리인 외적 피드백, 분산적 자료처리, 연합/협력적 학습, 그리고 자기-적응적 학습의 원리를 적용한 기계 학습 관련 연구들을 탐색하였다. 검색 툴로서는 Google Scholar를 통해 검색된 2000년~2020년 사이의 인공지능 학습알고리즘에 기반한 기계 학습을 설명하는 논문들 중에서 연구진의 주관적 검토를 바탕으로 네 가지 학습 모형—외적 강화, 분산적, 연합적 학습, 자기적응적 학습—을 선정하였다. 본 절에서는 이 네 가지 기계 학습 모형을 바탕으로 메타-학습의 원리들이 기계 학습의 알고리즘에서 어떻게 적용되고 있으며, 그 각각이 가상 세계 및 컴퓨터 학습환경에서의 학습원리로 어떻게 활용될 수 있는지 살펴보자.

(1) 외적 강화 학습

메타-학습의 가장 기본적 원리들 중 하나가 바로 외적 강화 학습을 활용한 메타 강화 학습(Meta Reinforcement Learning: meta-RL)으로서, 학습자(agent)가 미지의 과제를 보다 빠르고 효율적으로 학습할 수 있도록 최적화하는 것을 의미한다. 예를 들어, 인공지능 학습 알고리즘은 효과적인 메타-학습 모델을 활용하여 지도 학습(supervised learning)의 훈련 모형(training model)으로 익혔던 학습 방식을 넘어서, 훈련 기간에는 경험하지 못했던 새로운 과제나 새로운 환경에도 적용하여 학습을 일반화하는 방식을 개발하고 있다. 다음 [그림 4]은 학습능동자(agent)가 일련의 학습 경험들 속에서 어떻게 메타-학습이 이루어지는지를 보여주는 기본적인 도식이다.



[그림 4] 메타 강화학습(meta-RL)의 도식

출처: Revised from Botvinick et al.(2019), p. 416.

위 [그림 4]는 학습능동자의 특정 학습환경에서의 수행이 지속적으로 다양한 학습환경에 노출되면서 내부 순환과 외부 순환을 통해 어떻게 학습이 강화되는지를 보여주고 있다. 여기서 내부순환 회로는 학습능동자가 환경과 상호작용하면서 최고의 보상을 가져다주는 조건을 최적화시키는 회로이고, 외부 순환 회로는 매번 새로운 환경에 맞추어 학습능동자의 행위를 결정하기 위해 매개변수를 조정하는 회로이다. 이 두 가지 회로가 동시에 작동하면서 이루어지는 것이 메타 강화학습인데, 인공지능 딥러닝(deep learning)은 표면적 학습(내부 순환적 학습)이 다발적으로 이루어짐과 동시에 그러한 학습들에서 나타난 결과들을 외부순환을 통해서 동시에 처리함으로써 다층적인 딥러닝이 이루어질 수 있는 것이다.

요컨대, 메타-학습은 인간 학습의 특징으로 간주되었던 의식적, 직접적, 단계적(논리적) 사고에만 의존하는 학습이 아니라, 무의식적, 간접적, 병렬적 학습의 메카니즘을 설명하는 것으로 기계 학습에서 인공지능 학습 알고리즘을 설명하는 하나의 모형이 될 수 있고, 그 핵심 원리는 내부적 순환 고리(직접적 학습 회로)를 초월하여(transcendence) 이루어지는 외부 순환 고리(메타적 학습 회로)인 것이다.

(2) 분산적 학습

분산적 학습은 사회심리학 이론에서 파생된 개념이지만(Bruffee, 1987), 컴퓨터 공학의 정보처리 및 기계학습의 과정을 설명하는 데에도 유용하게 쓰여져 왔다(Locatis & Weisberg, 1997). 예를 들어, 분산적 학습의 개념을 컴퓨터 환경에 가장 현실적으로 적용한 요소가 바로 하이퍼텍스트/하이퍼미디어(hypertext/hypermedia)이고, 그에 따라 인터넷 망은 분산적 학습의 가능성을 확대시킨 가장 중요한 환경이 되었다. 인터넷 환경에서의 분산적 학습은

무한한 지식의 원천에의 접근성, 정보 획득의 편이성, 지식 처리 도구의 효율성, 그리고 무엇보다도 협력적 학습(collaborative learning)의 촉진성 등의 차원에서 무궁무진한 가능성을 가지고 있다. 반면, 학습자의 학습 동기나 자발성에 따라 목표를 상실한 웹페이지 방문, 자료 수집의 효율성 상실, 적절한 학습안내자의 부재, 집중력 상실 등의 부작용이 일어날 가능성도 매우 높다(Kreijns et al., 2003). 즉, 데이터나 자료에의 접근성이 높다고 자동적으로 학습이 이루어지는 것은 아니라는 것이다.

그런 의미에서 본고에서 논의하고자 하는 분산적 학습은 다음 세 가지 특징을 가진 학습으로 정의될 수 있다(Dede, 1996. p. 3):

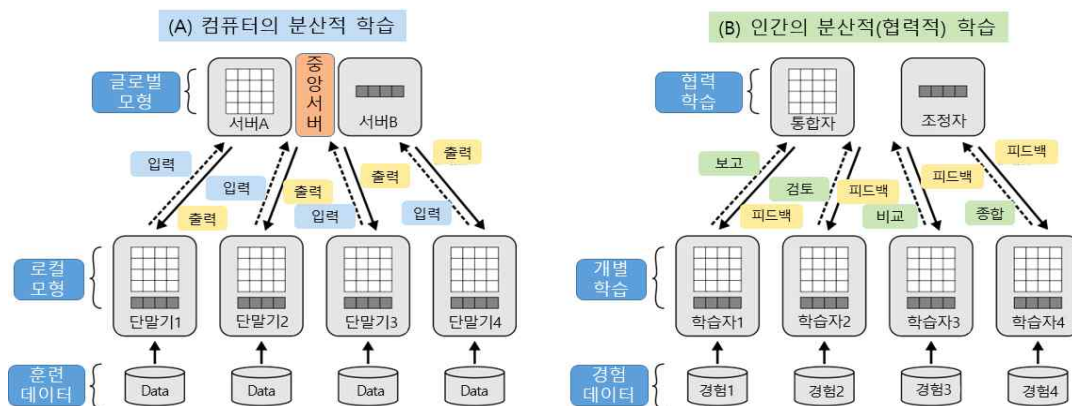
“i) 정보의 원천으로서 교사, 교과서, 지식 데이터베이스(도서관과 자료 목록) 등을 종합적으로 보완한 지식의 망.

ii) 면대면 교실과 비대면 혹은 가상적 환경을 포괄한 학습공동체 속에서의 상호작용.

iii) 공유된 종합적(shared synthetic) 환경 속에 몰입되었던 경험을 ‘행하면서 배운다(learning-by-doing)’ 로 실세계 환경에 확장하는 학습.”

즉, 분산적 학습은 정보의 원천, 경험의 환경(대면, 비대면, 가상적 환경), 학습공동체의 공유적 경험을 바탕으로 한 학습으로써, 학습이 일어나는 환경과 학습 결과가 적용되는 실세계의 환경 간의 연계성까지 고려하는 학습인 것이다.

이러한 분산적 학습이 메타-학습의 한 원리가 될 수 있는 것은 분산적 학습이 광범위한 컴퓨팅 네트워크 속에서 대량의 데이터를 가지고 효율적이고 정확하게 귀납적 학습을 수행함으로써 보다 통합적이고 규모 있게 주어진 문제를 해결하기 위한 기계 학습의 원리들 중 하나이기 때문이다(Stolfo et al., 1997). 일례로, 다음 [그림 5]는 인간의 분산적 학습이 컴퓨터의 분산적 학습의 기재와 유사한 방식으로 구현될 수 있다는 것을 보여주고 있다.



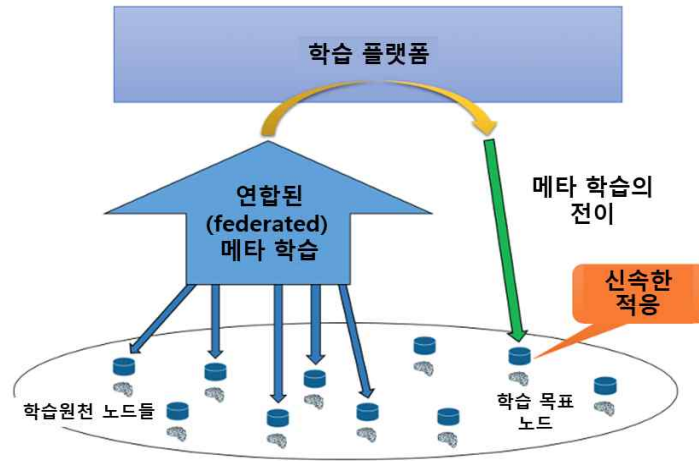
[그림 5] 컴퓨터-인간의 분산 학습 비교
출처: Revised from Lattner et al.(2010), p. 3.

즉, 컴퓨터 공학에서 메타-학습은 로컬 수준에서 여러 데이터 셋을 통해 훈련된 학습의 결과를 무수한 입력과 출력의 과정을 통해 종합하여 전체적 학습의 결과를 도출하는 방식을 의미한다. 이러한 학습 전력이 효과적인 이유는 대량의 데이터 원천(data sets)을 활용하여 각자 별도의 학습 프로세스를 병렬적으로 운용하면서도, 동시에 그 모든 계산 결과를 수합하여 목표로 했던 학습 결과를 도출해낼수 있다는 분산적 계산 원리를 기반으로 하고 있기 때문이다. 그런데 오른쪽 그림은 이러한 병렬적이고 분산적인 메타-학습은 사실 인간 학습에 있어서도 동일한 방식으로 적용될 수 있다는 것을 보여준다. 개별적 학습자가 각자의 경험을 기반으로 학습의 결과를 도출하는 것이 아니라, 이를 종합하여 집단적 수준에서 통합과 조정의 과정을 통해 결론을 도출해내는 학습, 즉 협력적 학습(collaborative learning)을 수행할 수 있다는 것이다(Laal & Ghodsi, 2012). 이러한 맥락에서 교육공학 분야에서는 오래전부터 컴퓨터-지원 협력적 학습(computer-supported collaborative learning)의 장점과 효과성에 대한 많은 연구들이 이루어지기도 했다(Lehtinen et al., 1999; Resta & Laferrière, 2007; O'Malley, 2012).

정리하자면, 메타-학습은 단지 컴퓨터 학습의 차원뿐 만이 아니라, 개인주의적 학습원리를 기반으로 한 경험적 학습으로는 설명하기 힘든 분산적이고 협력적인 사고나 학습을 설명하는데에도 유용하다는 것이다.

(3) 연합적 학습

메타-학습은 앞서 논의한 것과 같이 외부강화적 학습이나 분산적 학습의 형태와 더불어 여러 가지 학습의 요소나 과정들을 동시에 고려한다는 점에서 다중과업(multi-task)의 한 형태이기도 하다. 하지만 메타-학습과 일반적 다중과업 학습의 차이점은, 다중과업 학습이 여러 가지 과업들을 동시에 수행하면서 그 수행의 정확성을 동시에 높이는 것을 목표로 한다면, 메타-학습은 원천 과업(source task)과 목표 과업(target task)을 구분하면서 보다 신속하고 정확하게 학습 목표에 도달하고자 한다는 차이가 있다(Zhang et al., 2020). 즉 메타-학습은 다음 [그림 6]의 경우와 같이 여러 개의 학습 원천(learning sources)이 연합된(federated) 자료를 활용하여, 학습 플랫폼 속에서 이루어진 학습활동의 결과를 정확하고 신속하게 학습 목표(learning target)에 전이시킬 수 있다는 점에서 연합적 학습의 특징을 갖는다.



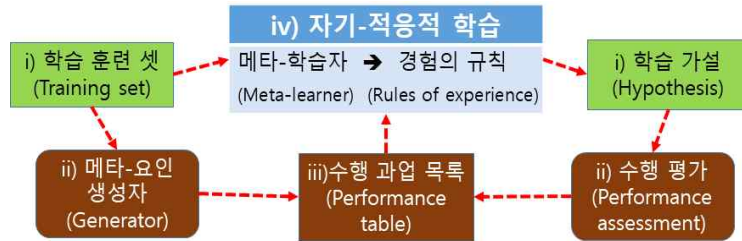
[그림 6] 연합적 학습의 개념도

출처: Revised from Zhang et al.(2020), p. 1124.

여기서 연합된 학습을 앞서 설명한 분산적 학습과 비교한다면, 분산된 학습의 개념은 각각의 세부적인 학습의 역할이 구별될 수 있는 것에 반해, 연합적 학습은 세부적 학습의 구조적 역할을 구체적으로 설명하고 있지는 않는다는 것이다. 또한, 다중적으로 이루어지는 다중 과업 학습에서 목표한 학습을 성취하기 위해서는 상당히 다량의 자료가 필요한 것에 반해, 최소한의 학습 자료를 가지고도 보다 세밀하게 조정된 학습의 수행을 이끌어낼 수 있다는 것이 연합된 학습의 특징이다. 그런 의미에서 이러한 연합 학습의 원리는 다양한 사물들과 소통하면서 그 사물들을 보다 효과적으로 통제하는 기술이 요구되는 사물인터넷(Internet of Things) 분야의 핵심 원리로 연구되고 있다(Nguyen et al., 2021; Rahman et al., 2020). 따라서 이 연합된 메타-학습의 원리는 개별학습자나 기관들이 어떻게 다양하고 상이한 경험 요소들을 효과적으로 정리하고 종합하여 원하는 학습 목표를 위해 활용할 수 있는지를 예측하고 설명하는데 활용되고 있다(Chhikara et al., 2020; Li et al., 2020).

(4) 자기-적응적 학습

메타-학습의 원리를 설명해주는 또 다른 모형에는 자기-적응적 학습모형이 있다. 이 자기-적응적 학습모형은 여러 가지가 있지만, 본고에서는 Vilalta & Drissi(2002)가 제시한 모형 [그림 7]을 통해 메타-학습이 어떤 자기-적응적 과정의 성격을 띠고 있는지 설명해보자.



[그림 7] 자기적응적 학습의 흐름도

출처: Revised from Vilalta & Drissi(2002), p. 82.

위 [그림 7]은 자기적응적 학습 과정을 네 단계로 설명하고 있다: 즉, i) 특정 학습가설을 그 가설을 검증하기 위해 설정된 학습 훈련 셋 속에서 수행하고 보고, ii) 그 수행 결과에 대한 평가에 대한 해석이 메타-요인을 생성하게 되며, iii) 이러한 평가결과를 축적하여 목록을 만들면, 마지막으로 iv) 그 리스트 속에서 경험의 규칙을 추론하는 과정이 메타-학습의 기본 메커니즘이 그것이다. 여기서 메타-학습의 핵심은 위와 같은 가설 설정 → 수행 → 평가 → 메타 요인생성 및 목록화 → 통합적 규칙 발견이라는 과정이 역동적으로 이루어지면서 결론을 수정해나가는 자기적응과정이라는 것이다.

이 모형이 적용될 수 있는 학습환경(과제)의 일례로, 메타-학습은 메타-요인(meta-features)을 생성해내는 것을 목표로 한다. 즉, 메타-학습이란 다양한 문제 상황에 대한 각각의 해결책을 탐색한 후, 그 탐색 결과를 바탕으로 글로벌한 상황에 최적화(optimization)된 요인들 즉, 메타-요인(meta-features)을 추출해내는 것이 목표이다. 이때 최적화가 필요한 문제는 초기에는 매우 복잡하면서도 파악이 어렵기 때문에, 그 각각의 데이터들을 포집하고 분석함으로써 전체 맥락에 적용할 수 있는 메타-요인(meta-features)을 생성해내는 것이 메타-학습의 목표인 것이다(Chu et al., 2019). 따라서, 메타-학습은 누적된 세부적 경험들을 평가하고 종합하여 메타-요인과 같은 종합적 요인들을 자기-적응적 과정을 통해 추출해냄으로써 보다 보편적인 결론에 도달해나가는 학습 메커니즘으로 이해될 수 있다.

정리하자면, 본 장에서 제시한 네 가지 메타-학습의 원리들—외적 강화, 분산적, 연합적 학습, 자기적응적 학습—은 현재 인공지능 딥러닝이나 컴퓨터-지원학습의 다양한 알고리즘들이 활발히 활용하고 있는 학습원리들이고, 그 원리가 인간의 메타-학습원리들과 근본적 차이가 있는 것은 아니라는 것이다. 이러한 주장을 통해 본고는 기존의 경험학습 원리뿐만 아니라 설명했던 인간 학습에 대한 이론적 이해를 디지털 환경과 가상현실에서의 인간의 학습을 설명하는 메타-학습으로 확장시킴으로써 기계학습과 인간 학습의 본질적 유사성을 탐색하고자 했던 것이다.

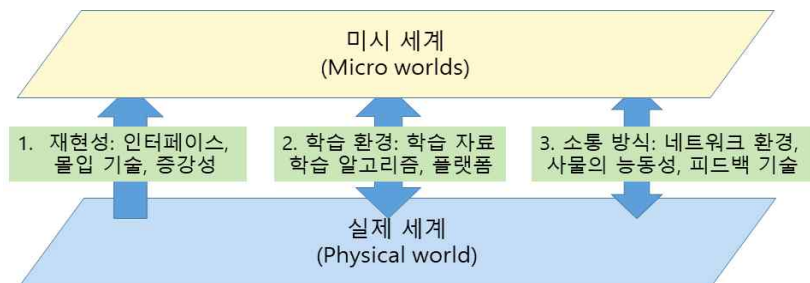
3. 메타-학습의 적용: 컴퓨터-지원 협력 학습

앞 장에서 본고는 메타-학습의 개념과 기본 구조, 그리고 네 가지 메타-학습의 원리가 적용된 기계 학습의 모형을 통해 인간 학습과 기계 학습의 연관성에 대해 살펴보았다. 본 장에서는 인간학습과 기계 학습에서 공통적으로 적용될 수 있는 이러한 메타-학습의 원리가 실제로 적용되는 사례가 컴퓨터-지원 협력 학습이라고 보고, 이를 통해 메타-학습이 어떻게 현실 속에서 구현되고 있는가를 설명해보자.

가. 컴퓨터-지원 협력 학습의 기본 원리

컴퓨터-지원 협력 학습(computer-supported collaborative learning: CSCL)은 현대 과학적 기술의 총아인 컴퓨터라는 매체가 어떻게 지식을 효과적으로 다루고 학생들의 학습을 도울 수 있는지를 연구하기 위해 학습 과학(learning sciences), 의사소통 이론, 인간-컴퓨터 상호 작용, 그리고 프로그래밍 언어 등에 관해 논의하는 분야이다(Shaffer & Clinton, 2017). 위와 같은 컴퓨터-지원 학습을 구상하는데 가장 중요한 요소는 학생들이 학습하는 과정에 대한 모형화를 바탕으로 실제 학습환경을 모사하거나 그보다 훨씬 생동감 있는 미시세계(micro worlds)를 디지털 환경에서 설계하는 것이다. 여기서 미시세계란 학습자의 학습이 이루어지는 가상적 환경으로서의 머릿속 세계를 의미하는 것으로, 현재는 메타-버스 환경을 지칭하는 의미로 확장되어 쓰이고 있다. 즉, 학습자는 미시 세계 속에서 자신의 경험을 구성하고, 문제를 해결하고 실천하게 되는데, 그러한 가상적 미시세계를 적절히 모사하고 그 속에서 이루어지는 학습관정에 맞게 수업을 설계하는 것이 컴퓨터-지원 학습의 핵심적 목표이다.

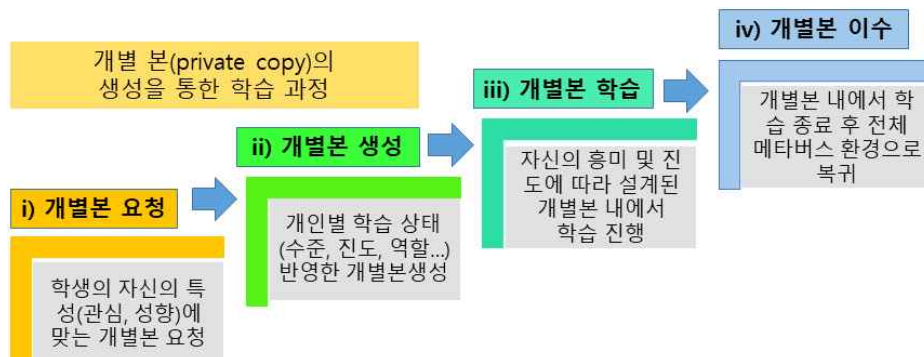
Han et al.(2021)은 메타-학습이 효과적으로 이루어질 수 있는 가상 세계(미시 세계)의 핵심요소를 다음 [그림 8]과 같은 세 가지 요소—재현성(representation), 학습환경, 그리고 소통 방식—를 통해 제시한 바 있다.



[그림 8] 미시 세계 설계의 핵심 요소
출처: Revised from Han et al.(2021), p. 2.

위 [그림 8]을 간단히 설명하면, 우선 재현성은 인간-컴퓨터 인터페이스(human-computer interface)와 몰입 기술(immersive technology), 그리고 증강성(augmentation)에 의해 좌우되는 것으로, 미시 세계가 인간의 일상적 경험이 이루어지는 실제 세계를 얼마나 실제와 유사하거나 확장하는 방향으로 구현될 수 있을 것인가의 문제이다. 여기서 재현성은 실제 세계를 추종한다는 의미에서 일방향 화살표로 표현되고 있다. 다음으로, 학습환경은 학습 자료(학습내용이나 정보의 데이터베이스), 학습 알고리즘(학습자의 학습을 안내하는 프로그램), 그리고 미시 세계에서의 메타-학습과정을 총괄하는 플랫폼으로 구성된다. 마지막으로, 소통 방식은 학습 플랫폼의 연결성(네트워크 환경: 인터넷, 클라우드 등), 사물의 능동성(agency: 기술적 도구들이 알고리즘을 통해 학습자의 학습을 보다 능동적으로 이끌어가는 특성), 그리고 학습자의 학습 과정과 결과에 대한 피드백 기술로 이루어진다.

아울러 컴퓨터-지원 학습을 기반으로 이루어지는 메타-학습은 학습자 각자의 학습목표와 내용을 기반으로 독자적인 학습경로(개별 본 요청-생성-학습-평가)를 생성하는 방식으로 이루어진다. 예를 들어, 이 컴퓨터-지원 학습이 기존의 학습이론을 어떻게 적용할 수 있는지를 이해하기 위해 구성주의 학습의 사례를 통해 살펴보자. 구성주의의 핵심 원리는 학습자의 능동성과 자기주도성, 맥락적 의미를 갖는 학습내용, 학습자 각자가 자신만의 고유한 학습의 과정을 만들어가는 것 등이다(Harris & Graham, 1994; Lebow, 1993). 구성주의 학습원리도 전통적 경험주의적 학습원리에서 출발한 것이기 때문에, 인간학습과 기계학습(예, 컴퓨터-지원학습)의 연계가능성을 탐색해볼 수 있는 좋은 사례가 될 수 있다. 이러한 구성주의에 기반을 둔 미시세계 설계는 학생들 각각의 활동이 그것과 관련된 지식의 핵심과 자연스럽게 만나도록 환경을 조성하는 것인데, 그런 의미에서 컴퓨터-지원 학습을 기반으로 이루어지는 메타-학습은 다음 [그림 9]와 같이 학습자 각자에게 최적화된 개별 본(private copy)을 생성하여 학습을 안내하게 된다.



[그림 9] 개별 본의 실행 절차

출처: Revised from Falchuk et al.(2018), p. 57.

요컨대, 컴퓨터-지원 환경(미시 세계) 속에서 메타-학습이 효과적으로 이루어지기 위해서는 현실 세계의 재현성을 높이는 것, 학습을 운영하는 플랫폼의 설계, 그리고 효과적인 소통이 이루어질 수 있도록 돕는 네트워크 환경이나 피드백을 촉진하는 기술들이 반영되어야 한다는 것이다.

나. 메타-학습을 위한 기술적 도구들

미래 사회의 변화를 가져오고 있는 기술적 진보의 실제적 사례들에는 알고리즘, 빅 데이터, 플랫폼 등에 기반 한 정보처리 기술, 인공지능, 드론과 무인자동차를 포함한 로보틱스 기술, 셀룰러 네트워크 및 Wi-Fi 기술, 센싱 기술, 착용(wearable) 기술, 유비쿼터스 컴퓨팅 등을 바탕으로 한 통신기술, 그리고 사물 인터넷(internet of things)과 만물 인터넷(internet of all things), 스마트 홈, 소셜미디어 기술의 발달 등과 같은 생활기반기술들이 모두 포괄된다. Forlano(2017)는 이러한 다양한 기술적 변화들이 학습환경의 변화에 미치는 양상을 크게 다섯 가지—네트워크적 소통, 인터페이스의 변화, 유비쿼터스 환경, 피드백 기술의 혁신, 그리고 사물의 능동성—로 구분한 바 있는데, 이러한 기술적 요인들과 앞서 논의한 미시 세계의 설계 요소의 연관성을 분석하여 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 기술적 요소들의 특징과 미시(가상) 세계 요소들의 연관성

기술적 요소	기술적 요소의 특징	미시(가상) 세계 요소		
		재현성	학습환경	소통 방식
네트워크적 소통	횡적 네트워크		√	√
	뉴미디어 통신	√		√
	각종 하이퍼텍스트 및 링크스[Links]			√
인터페이스의 변화	터치스크린	√		
	동작 인터페이스	√	√	√
	맥락-인식적 인터페이스	√	√	√
	사용자 친화적 디자인	√		
유비쿼터스 환경	유비쿼터스 컴퓨팅		√	
	클라우드 컴퓨팅		√	
	지리정보시스템/위치 태깅		√	
	메타-버스(meta-verse)	√	√	√
피드백 기술의 혁신	소셜 미디어나 봇들[Bots]	√		√
	생체인식			√
	동작 측정술[biometrics]			√
사물의 능동성	인간-기계 인지(AI 알고리즘)			√
	아바타(Avatar) 재현	√		
	사물의 능동성[Agency]			√

위 <표 1>에서 정리된 바와 같이, 최근 우리가 일상생활 속에서 경험하고 있는 수많은 기술적 요소들은 컴퓨터-지원 학습을 기반으로 구현되는 미시세계의 학습환경에 다양하게 적용되고 있다. 예를 들어, 학습자들은 스마트기기를 통해 시간과 장소에 구애받지 않고 쌍방향 소통을 하면서 학습자료나 정보를 교환하거나, 유튜브와 같은 동영상 플랫폼에서 제공되는 영상 자료를 학습에 활용할 수 있다. 즉, 가상적 교실 환경 속에서 가상적 인물 혹은 아바타화된 동료들과 토론하면서 다양식적(multi-modal: 문서자료, 동영상 클립, 감각 증진 매체(sensing technology), 멀티미디어 앱스(apps), 학습 툴(learning tools) 등의 자료들을 실시간으로 공유하면서 과제를 수행해나갈 수 있다.

이러한 기술적 요소들은 이미 우리 일상생활에 정착되어 활용되고 있는 요소들로서 메타-학습의 원리가 얼마나 일상적 삶 속에서 녹아져있는지를 잘 보여주는 증거가 되기도 한다. 앞서 논의한 외적 강화, 분산적 학습, 연합적 학습, 그리고 자기적응적 학습은 그 학습알고리즘 자체만으로도 메타-학습을 구현하는 원리가 되지만, 위와 같은 기술적 요소들을 활용한 일상 혹은 가상현실 속에서 자연스럽게 직접적 경험과 가상적 경험의 구분을 넘어선 메타-학습이 이루어질 수 있다는 것이다. 이것이 인터넷, 가상학습, 모바일 환경과 같은 기술적 환경 속에서 인간의 학습이 실제 세계의 경험을 기반으로만 이루어지는 것이 아니라, 컴퓨터의 지원을 받은 인간-도구의 협력적 학습인 메타-학습의 구현을 의미하는 것이다.

정리하자면, 컴퓨터-지원 협력 학습은 기계학습의 기본원리인 메타-학습이 인간 학습자의 학습을 보조하기 위해 활용되는 대표적인 예로써, 현실 세계를 모사한 미시 세계(혹은 가상 세계)에서 개별학습자에 대한 맞춤형 학습을 다양한 기술적 도구의 도움을 통해 이루어지는 학습이라고 이해할 수 있다. 이러한 컴퓨터-지원 협력학습에서의 ‘협력’은 맞춤형 학습(customized learning)의 형태로 개별학습자 대 컴퓨터의 협력이나 다중접속역할게임(MMORPG)과 같은 인간들 간의 다중적 협력 등의 형태로 이루어질 수도 있다(Dalgarno, 2001; De Bruyckere & Kirschner, 2020; Stahl, 2005). 다만 현재 이러한 메타-학습의 가능성과 한계에 대해서는 여러 논란이 존재하는데, 이는 다음 절에서 좀 더 자세히 다루어보자.

다. 메타-학습을 둘러싼 논란점

지금까지 논의한 메타-학습은 정보통신 기술을 활용한 학습환경 속에서 경험적 학습을 보완할 수 있는 매우 효과적이고 의미 있는 학습의 양식이 되기도 하지만, 한편으로 아직 여러 가지 문제점과 한계점을 안고 있다. 이에 이러한 메타-학습을 둘러싼 주요한 논란점들이 무엇인지 살펴보자.

첫째, 메타-학습이 개인주의적 학습인가, 개별화 학습인가에 대한 문제이다. 개인주의적 학습(personal learning)이란 학습 자체가 개인적 과업(personal task)이라는 이론을 바탕으로

학습의 대부분의 과정을 개인의 문제로 인식하는 것으로, 기존의 경험주의 학습이론도 기본적으로 개인주의적 학습관에 초점을 맞추어 이론화된 것이었다(Fiedler & Valjataga, 2011). 반면, 개별화 학습(individualized learning)이란 학습의 목표, 과정, 평가가 개별 학습자의 특성, 수준, 관심도 등에 맞추어 맞춤형(customization)으로 제공되는 학습이라는 의미로써, 원격교육이 도입되기 시작하면서 주목받기 시작한 학습의 유형이다(Fenwick, 1985). 즉, 초기 원격 교육은 집단적이나 협력적 학습을 수행할 만한 기술적 환경이 구축되지 않았기 때문에, 개별 학습자가 전화나 이메일, 학습지 등과 같은 원시적 소통의 매체를 활용해 개별화된 학습과정을 수행하는 것을 지칭하는 개념으로 등장하기 시작했던 것이다. 하지만, 오늘날의 인터넷, 인공지능, 가상현실 등과 같은 정보통신 환경은 더 이상 메타-학습이 개별화된 학습에만 국한될 필요가 없을 만큼 협력적이고 집단적 학습을 가능하게 할 기술적 여건이 확충되었다는 것이다. 그런 의미에서 메타-학습은 개인주의적 학습을 위한 개념으로서가 아니라, 개인들의 개별화 학습 과정이 동료들과의 집단적이고 역동적으로 협력적 학습으로 확장될 수 있는 가능성을 탐색해나갈 필요가 있다는 것이다.

둘째, 메타-학습이 개별 학습자의 머릿속에서(inner brain) 전개되는 학습의 과정만을 설명하는 것인지, 아니면 인간의 사고(학습) 활동이 두뇌 외적 기관(즉, 컴퓨터)에서의 학습 매커니즘(즉, 인공지능의 알고리즘)으로 확장시켜 논의하는 것인지에 대한 문제이다. 이에 대해 본고는 메타-학습을 단순히 인간의 사고 및 학습의 과정에 대한 탈경험주의적 접근의 차원에서 설명하는 것이 아니라, 인간의 메타-학습과 컴퓨터의 메타-학습이 어떻게 자연스럽게 연계될 수 있을 것인가의 가능성을 탐색하고자 하는 것이다. 사실 이러한 시도는 이미 인공지능 분야의 기계학습, 특히 딥러닝(deep learning)의 연구에서 이론적으로나 실질적으로 활발히 이루어지고 있음에도 불구하고, 인본주의적 학습이론에서는 그러한 연구 경향에 대응할만한 기존의 학습이론에 대한 재논의가 충분히 이루어지지 못하고 있기 때문에 의미가 있을 것이다.

셋째, 위 두 가지 논란점을 고려해볼 때 메타-학습은 단순히 개인주의적 학습 과업을 설명하는 이론이 아니라, 컴퓨터를 활용한 학습환경에서 다양한 개인들이 자신들의 학습 특성을 살리면서도 효율적이고 생산적인 협력학습의 목표를 달성하고자 하는 학습이라고 이해할 수 있다. 그런데, 그러한 메타-학습이 구현되는 학습환경은 주로 다중들이 원격으로 모여 구성된 가상적 학습환경 속에서 구현되기 때문에 탈맥락적 학습의 성격을 띄게 될 개연성이 높다. 그런데 이러한 탈맥락적 학습은, 경험적 학습과의 차별성에서 드러나듯이, 학습이 발생하는 환경이 물리적(시간적, 공간적)으로나 사회문화적으로 맥락화된 지식(contextualized knowledge: Reed, 2010)에 국한되지 않는 학습을 수행하는 것을 의미한다. 즉, 소통의 방식, 보편적 지식의 학습, 학습과정의 효율성 등의 측면에서는 탈맥락적 학습을 수행하는 것이

효과적일 수 있으나, 지식을 내면화하거나 지식의 의미를 체화함에 있어서 그러한 탈맥락적 지식을 다루는 것이 한계성을 지닐 수밖에 없다는 비판적 관점이 존재한다(Jaramillo, 1996). 따라서, 메타-학습은 학습내용의 탈맥락성의 문제를 어떻게 보완하여 체화되고 현장배태적 인(embodied & embedded: Fowler, 2010) 학습을 유지할 수 있을지에 대한 고민이 필요할 것이다.

넷째, 메타-학습을 수행하는 것은 경험주의적 학습에 비해 매체의존성이 높아진다는 것을 의미한다. 그런데, 멀티태스킹(multi-tasking)이나 미디어 중독 등의 논란에서 나타나듯이 미디어에 대한 높은 의존성에 대해 학자들은 다양한 평가를 내리고 있다. 예를 들어, 멀티태스킹은 많은 장점을 가지고 있으며, 멀티태스킹에 뛰어난 사람들의 다재다능함이 조명되기도 하고, 그에 따라 디지털 세상의 필수적인 소양으로 평가받기도 한다(Jenkins, 2009). 반면, 멀티태스킹은 신경생리학적으로 불안정한 자극에 유도되고, 생각보다 그리 생산적인 작업방식이 아니며, 장기적으로 정서적, 사회적 부작용을 유발할 수 있다는 주장도 있다(Jackson, 2008). 위와 같은 논란에도 불구하고, 현대 인류의 삶의 방식은 과거의 생활 방식을 유지하고 살아가기엔 현실적으로 많은 어려움이 있다는 사실을 감안할 때, 교수자나 학습자가 다양한 매체들을 효과적이고 안정적으로 활용하며 메타-학습을 수행해나가는 기술에 대한 미디어-리터러시 교육이 필요할 것이다.

마지막으로, 메타-학습은 디지털 환경 속에서 구현되는 전산 매체나 인공지능 알고리즘 등을 활용하여 온라인/비대면으로 이루어지는 학습환경이기 때문에, 프라이버시(privacy)의 문제가 수반된다. 예를 들어, 개인 자료나 학습수행 정보가 모두 기록되고 취합되며, 학습 자체 데이터만이 아니라 다른 부수적인 데이터도 교사나 정보관리자에 의해 내외부적으로 노출될 수 있다(Falchuk et al., 2018). 혹은 학습을 촉진하려는 교사의 개입이 의도적이기 않게 학생들의 자율성(자기주도성), 독립성(탈의존성), 독자성(개별적인 학습의 특성) 등을 침해할 수 있다. 즉, 개인 학습자의 학습이 기술적 매체에 의해 통제되는 것이 과연 어떤 교육적 목적에 의해 정당화될 수 있느냐의 문제를 고민할 필요가 있을 것이다.

Ⅲ. 결 론

본고는 지금까지 가상현실의 등장과 인공지능 기술의 발달로 학습환경과 경험이 급속히 변화하고 있는 기술적 환경 속에서, 기존의 경험 학습의 한계성을 보완하는 학습이론으로서 메타-학습의 개념과 성격을 강조하고자 하였다. 이를 위해 메타-학습이 기계학습의 기본 원리와 모형으로 어떻게 사용되고 있는지를 문헌분석을 통해 검토하였고, 그 결과로서 메타-

학습을 구현하고 있는 기계 학습의 모형들과 그 원리들을 설명하였다. 마지막으로 메타-학습을 실천하고 있는 교육공학의 모형들 중의 하나로서 컴퓨터-지원 협력학습에 주목하여 그 구체적 원리와 활용 가능성에 대해 논의하였다. 이러한 본고의 핵심적 논의를 바탕으로, 메타-학습이 학습이론과 교육공학의 원리로서 갖는 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 인간의 실제적 경험을 학습의 기본 원리로 전제하여 구안된 경험학습은 학습의 원천을 대면적이고 개별적이며 맥락적인 경험을 주목하고 주로 인지적 학습을 설명하는데 관심을 집중하였던 것이다. 그로 인해, 오늘날 기술적 환경 속에서 학습자들이 실제로 경험하는 비대면적, 탈맥락적, 간접적, 그리고 다양한 매체에 의해 안내되는 경험들이 학습에 기여하는 바를 설명하는데 한계가 있었다는 것이다. 특히 경험학습은 개별적 학습자가 특정 맥락 속에서 자기주도적이고 주체적인 의도에 의해 이루어지는 학습에 집중한 나머지, 컴퓨터로 대표되는 다양한 기술적 도구나 매체들에 의존하기도 하고, 경우에 따라 가상적이고 비대면적 환경 속에서 집단적이고 협력적으로 이루어지는 학습의 과정을 설명하는데 충분하지 않았다는 것이다.

둘째, 본고는 위와 같은 문제의식을 바탕으로 오늘날 학습자들의 학습 양식이 지식 기반 학습에서 실천 기반 학습으로, 인지적 학습에서 직관적 혹은 통찰적 학습으로, 그리고 구성주의 학습에서 기술기반 학습으로의 전환이 필요함을 강조하였다. 특히 기술기반 학습은 다양한 정보통신 기기들에의 사용성과 의존성이 커지고 있는 현 상황에서 학습자 스스로의 주도성 만큼이나 학습 매체나 학습을 보조하는 여러 가지 기술적 도구들(컴퓨터, 스마트/유비쿼터스 기기, PPT, 각종 앱 등)의 역할 및 학습자와 학습도구들의 상호작용을 중시하기 때문에, 오늘날의 학습 상황에 더 부합하다는 것이다.

셋째, 메타-학습의 용어는 여러 맥락 속에서 쓰일 수 있지만, 본고는 인공지능을 활용한 기계학습의 일환으로 설계된 메타-학습의 원리가 경험 학습을 보완할 수 있는 유의미한 학습이론임을 강조하고자 하였다. 그런 의미에서 본고는 메타-학습 구성요인의 지형도, 메타-학습 수행의 기본 절차, 메타-학습의 주요 원리와 모형을 제시하였다. 본고에서 제시되어 설명된 메타-학습의 원리(모형)은 외적 강화 학습, 분산적 학습, 연합적 학습, 그리고 자기-적응적 학습이다.

넷째, 본고는 메타-학습이 구체적으로 적용되고 있는 사례를 컴퓨터-지원 협력 학습을 통해 논의하였는데, 컴퓨터-지원 학습이란 학생들이 학습하는 과정을 디지털 환경 속에서 모형화하여 현실적 경험 못지 않는 생동감있는 방식으로 가상 세계 혹은 미시세계를 통해 구현하는 것을 의미한다. 따라서 이러한 가상 세계 속에서 메타-학습이 효과적으로 이루어지기 위해서는 최근 4차산업혁명의 기술적 환경인 정보 통신 네트워크, 사용자 친화적 인터페이스, 유비쿼터스 학습, 다양한 피드백 기술, 그리고 기술적 매체들의 능동성을 최대한 활용

하여 학습의 방식을 변화시키는 것이 경험 학습의 한계를 극복하는 지름길이라는 것이다.

마지막으로 본고는 이러한 메타-학습에 기반한 학습의 가능성과 한계성에 대해 논의하였다. 주된 논점은 메타-학습은 독자적 혹은 개인주의적 학습이 아니라, 기술적 요소(빅데이터 및 인공지능 학습 알고리즘 등)을 통해 학습자의 개별적 특성을 반영하는 학습과정을 설계하는 것이고, 학습자의 두뇌 속에서 발생하는 학습을 설명하는데 국한되는 것이 아니라 그러한 학습 과정을 디지털화하여 어떻게 기계 학습의 알고리즘으로 전환할 수 있을가에 대한 논의를 포함한다는 것이다. 아울러, 메타-학습은 다중의 학습자들이 대면/비대면의 공간적 제약을 넘어 가상적 학습환경을 활용하여 구현되는 탈맥락적 학습이고, 그러한 학습이 다양한 매체들의 기능과 효율성을 활용하여 이루어질 수 있다는 것을 특징으로 한다.

물론 본고에서 논의한 메타-학습이 효과적으로 실현되기 위해서는 많은 기술적, 환경적 요인들이 갖추어져야 할 것이다. 몇 가지 중요한 사항을 예를 들면, 메타-학습을 구현하기 위한 컴퓨터 장비와 적절한 학습 알고리즘, 학습자에 대한 빅데이터, 그리고 기존의 지식을 체계적으로 디지털화하는 것이 우선되어야 할 것이다. 또한 메타-학습의 환경을 구현한 가상 세계 프로그램이나 학습 경로 및 과정을 구체화하여 학습을 안내할 최적의 학습관리 시스템(learning management system)도 필요하다. 아울러, 메타-학습을 안내할 교사의 훈련과 교사의 기술적 친숙도(디지털 리터러시)도 고려해야 하고, 인간-교사와 메타-학습 프로그램의 역할 분담에 대한 고민도 필요할 것이다. 특히 학습자의 입장에서는 매체친숙도나 디지털 환경 속에서 어떻게 자신의 학습을 스스로 수행해나갈 것인가 등에 대한 프라이버시 및 윤리문제를 포함한 디지털 리터러시를 갖추는 것이 무엇보다 중요할 것이다(Véliz, 2021).

References

- Abbey, D. S., Hunt, D. E., & Weiser, J. C. (1985). Variations on a theme by Kolb: A new perspective for understanding counseling and supervision. *The Counseling Psychologist, 13*(3), 477-501. <https://doi.org/10.1177/0011000085133016>
- Ayiter, E. (2011). Synthetic worlds, synthetic strategies: Attaining creativity in the metaverse. In G. Mura (Ed.), *Metaplasticity in virtual worlds: Aesthetics and semantic concepts* (pp. 182-197). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-077-8.ch011>
- Bada, S. O., & Olusegun, S. (2015). Constructivism learning theory: A paradigm for teaching and learning. *Journal of Research & Method in Education, 5*(6), 66-70. <https://doi.org/10.2196/22068>
- Botvinick, M., Ritter, S., Wang, J. X., Kurth-Nelson, Z., Blundell, C., & Hassabis, D. (2019). Reinforcement learning, fast and slow. *Trends in Cognitive Sciences, 23*(5), 408-422. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.02.006>
- Bruffee, K. A. (1987). The art of collaborative learning. *Change: The Magazine of Higher Learning, 19*(2), 42-47. <https://doi.org/10.1080/00091383.1987.9939136>
- Carruthers, P., & Chamberlain, A. (2000). *Evolution and the human mind: Modularity, language and meta-cognition*. Cambridge University Press.
- Chan, P. K., & Stolfo, S. J. (1993). *Toward parallel and distributed learning by meta-learning* (pp. 227-240). In Knowledge Discovery in Databases Workshop. <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/1993/WS-93-02/WS93-02-020.pdf>
- Chhikara, P., Singh, P., Tekchandani, R., Kumar, N., & Guizani, M. (2020). Federated learning meets human emotions: A decentralized framework for human-computer interaction for IoT applications. *IEEE Internet of Things Journal, 8*(8), 6949-6962. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3037207>
- Chu, X., Cai, F., Cui, C., Hu, M., Li, L., & Qin, Q. (2019). Adaptive recommendation model using meta-learning for population-based algorithms. *Information Sciences, 478*(0), 192-210. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.10.013>
- Crisp, R. J., & Turner, R. N. (2020). *Essential social psychology*. SAGE Publications.
- Csikszentmihalyi, M., & Sawyer, K. (2014). Creative insight: The social dimension of a solitary moment. *In the systems model of creativity* (pp. 73-98). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9085-7_7

- Dalgarno, B. (2001). Interpretations of constructivism and consequences for computer assisted learning. *British Journal of Educational Technology*, 32(2), 183-194. <https://doi.org/10.1111/1467-8535.00189>
- De Bruyckere, P., & Kirschner, P. A. (2020). Computer-assisted learning. In A. Tatnall (Ed.), *Encyclopedia of education and information technologies* (pp. 348-355). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10576-1_300079
- Dede, C. (1996). The evolution of distance education: Emerging technologies and distributed learning. *American Journal of Distance Education*, 10(2), 4-36. <https://doi.org/10.1080/08923649609526919>
- Falchuk, B., Loeb, S., & Neff, R. (2018). The social metaverse: Battle for privacy. *IEEE Technology and Society Magazine*, 37(2), 52-61. <https://doi.org/10.1109/MTS.2018.2826060>
- Fenwick, J. E. (1985). *Individualized learning*. LearnTechLib. <https://www.learntechlib.org/p/136568/>
- Fenwick, T. (2012). Mattering of knowing and doing: Sociomaterial approaches to understanding practice. In P. Hager, A. Lee, & A. Reich (Eds.), *Practice, learning and change* (pp. 67-83). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4774-6_5
- Fiedler, S. H., & Våljataga, T. (2011). Personal learning environments: Concept or technology?. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments (IJVPLE)*, 2(4), 1-11. <https://doi.org/10.4018/jvple.2011100101>
- Forlano, L. (2017). Posthumanism and design. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 3(1), 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2017.08.001>
- Fosnot, C. T. (2013). *Constructivism: Theory, perspectives, and practice*. Teachers College Press.
- Fowler, C. A. (2010). Embodied, embedded language use. *Ecological Psychology*, 22(4), 286-303. <https://doi.org/10.1080/10407413.2010.517115>
- Gershman, S. J., Horvitz, E. J., & Tenenbaum, J. B. (2015). Computational rationality: A converging paradigm for intelligence in brains, minds, and machines. *Science*, 349(6245), 273-278. <https://doi.org/10.1126/science.aac6076>
- Ghavifekr, S., & Rosdy, W. A. W. (2015). Teaching and learning with technology: Effectiveness of ICT integration in schools. *International Journal of Research in Education and Science*, 1(2), 175-191.
- Griffiths, M. D., & de Freitas, S. (2007). Online gaming and synthetic worlds as a

- medium for classroom learning. *Education and Health*, 25(4), 74-76.
- Griffiths, T. L., Callaway, F., Chang, M. B., Grant, E., Krueger, P. M., & Lieder, F. (2019). Doing more with less: Meta-reasoning and meta-learning in humans and machines. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 29(0), 24-30.
- Hamilton, M. (2016). *Imagining literacy: A sociomaterial approach*. In *Beyond Economic Interests* (pp. 1-17). Brill Sense.
- Hamm, A. O., & Vaitl, D. (1996). Affective learning: Awareness and aversion. *Psychophysiology*, 33(6), 698-710. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02366.x>
- Han, S. M. (2020). Exploring elementary school teachers' difficulties and educational needs. *Korean Journal of Sport Pedagogy*, 27(3), 59-80. ☞ 한상모(2020). 체육수업을 하는 초등교사들의 어려움과 교육적 요구 탐색. *한국스포츠교육학회지*, 27(3), 59-80.
- Han, Y., Niyato, D., Leung, C., Miao, C., & Kim, D. I. (2021). *A dynamic resource allocation framework for synchronizing metaverse with IoT service and data*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.00431>
- Hansen, M. B. (2013). Ubiquitous sensation: Toward an atmospheric, collective, and microtemporal model of media. In U. Ekman (Ed.), *Throughout: Art and culture emerging with ubiquitous computing* (pp. 63-88). The MIT Press.
- Harris, K. R., & Graham, S. (1994). Constructivism: Principles, paradigms, and integration. *The Journal of Special Education*, 28(3), 233-247. <https://doi.org/10.1177/002246699402800301>
- Hodgetts, D., Stolte, O., Sonn, C., Drew, N., Carr, S., & Nikora, L. W. (2020). *Social psychology and everyday life*. Red Globe Press.
- Hospedales, T., Antoniou, A., Micaelli, P., & Storkey, A. (2020). *Meta-learning in neural networks: A survey*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.05439>
- Hunt, D. E. (1987). *Beginning with ourselves*. Brookline.
- Hyun, J. S., Kim, E. J., Han, J. H., & Kim, N. (2019). Effects of simulation-based education for emergency patient nursing care in Korea: A metaAnalysis. *Journal of Korean Biological Nursing Science*, 21(1), 1-11. ☞ 현진숙, 김은자, 한정화, 김나현(2019). 응급환자 간호를 위한 시뮬레이션 교육효과: 메타분석. *Journal of Korean Biological Nursing Science*, 21(1), 1-11.
- Jackson, M. (2008). *Distracted: The erosion of attention and the coming dark age*. Prometheus Books.
- Jang, J. E. (2020). The effect of a synthetic phonics program on the early reading

- decoding ability of elementary school Students [Unpublished doctoral dissertation]. Jeju National University. ☞ 장지은(2020). **통합적 파닉스 프로그램이 초등학생들의 초기 읽기 해독 능력에 미치는 효과**. 박사학위논문. 제주대학교.
- Jaramillo, J. A. (1996). Vygotsky's sociocultural theory and contributions to the development of constructivist curricula. *Education*, 117(1), 133-141. http://www.projectinnovation.biz/education_2006.html
- Jaynes, C., Seales, W. B., Calvert, K., Fei, Z., & Griffioen, J. (2003, May). The Metaverse: A networked collection of inexpensive, self-configuring, immersive environments (pp. 115-124). In Proceedings of the Workshop on Virtual Environments 2003.
- Jenkins, H. (2009). *Confronting the challenges of participatory culture: Media education for the 21st century*. The MIT Press.
- Johri, A. (2011). The socio-materiality of learning practices and implications for the field of learning technology. *Research in Learning Technology*, 19(3), 207-217.
- Karppi, T., & Crawford, K. (2016). Social media, financial algorithms and the hack crash. *Theory, Culture & Society*, 33(1), 73-92. <https://doi.org/10.1177/0263276415583139>
- Kearsley, G., & Shneiderman, B. (1998). Engagement theory: A framework for technology-based teaching and learning. *Educational Technology*, 38(5), 20-23. <https://www.jstor.org/stable/44428478>
- Kemp, J., & Livingstone, D. (2006, August 20). *Putting a second life "metaverse" skin on learning management systems* [Conference session]. Second Life Education Workshop at the Second Life Community Convention. The University of Paisley, UK. <https://doi.org/10.1145/1235511.1235517>
- Kim, M. S. (2020). Research & trends for converged AI technology based on unsupervised reinforcement learning. *KSCI Review*, 28(1), 1-4. ☞ 김민석(2020). 비지도 강화학습 기반의 인공지능 융합 기술 연구 및 동향. **한국컴퓨터정보학회지**, 28(1), 1-4.
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2009). The learning way: Meta-cognitive aspects of experiential learning. *Simulation & gaming*, 40(3), 297-327. <https://doi.org/10.1177/1046878108325713>
- Kreijns, K., Kirschner, P. A., & Jochems, W. (2003). Identifying the pitfalls for social interaction in computer-supported collaborative learning environments: A review of the research. *Computers in Human Behavior*, 19(3), 335-353. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(02\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(02)00057-2)
- Krumsvik, R. (2009). Situated learning in the network society and the digitised school.

- European Journal of Teacher Education*, 32(2), 167-185. <https://doi.org/10.1080/02619760802457224>
- Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., & Jo, S. (2021). Educational applications of metaverse: Possibilities and limitations. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.32>
- La, J. S., & Lee, K. H. (2018). The effect of integrated activities using the five senses on improving children's creativity. *Global Creative Leader: Education & Learning*, 8(1), 77-95. <https://doi.org/10.34226/gcl.2018.8.1.77> 라지숙, 이경화(2018). 오감융합놀이 활동이 유아의 창의성 증진에 미치는 효과. **Global Creative Leader: Education & Learning**, 8(1), 77-95.
- Laal, M., & Ghodsi, S. M. (2012). Benefits of collaborative learning. *Procedia-social and behavioral sciences*, 31(0), 486-490. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.091>
- Lattner, A. D., Grimme, A., & Timm, I. J. (2010). An evaluation of meta learning and distribution strategies in distributed machine learning (pp. 3-8). In Proceedings of the European Conference on Data Mining.
- Lebow, D. (1993). Constructivist values for instructional systems design: Five principles toward a new mindset. *Educational Technology Research and Development*, 41(3), 4-16. <https://doi.org/10.1007/BF02297354>
- Lee, M. S. (2021). Educational use of a Metaverse platform through the case of the Hackathon class. *Journal of Korean Association of Computer Education*, 24(6), 61-68. 이명숙(2021). 해커톤 수업사례를 통한 메타버스 플랫폼의 교육적 활용방안. **컴퓨터교육학회 논문지**, 24(6), 61-68.
- Lehtinen, E., Hakkarainen, K., Lipponen, L., Rahikainen, M., & Muukkonen, H. (1999). *Computer supported collaborative learning: A review*. The JHGI Giesbers Reports on Education.
- Li, L., Fan, Y., Tse, M., & Lin, K. Y. (2020). A review of applications in federated learning. *Computers & Industrial Engineering*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106854>
- Li, Y., & Xiong, D. (2022, February 15). *The Metaverse phenomenon in the teaching of digital media art major* [Conference session]. 2021 Conference on Art and Design: Inheritance and Innovation (ADII 2021). Zhengzhou, China. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220205.056>
- Locatis, C., & Weisberg, M. (1997). Distributed learning and the Internet. *Contemporary Education*, 68(2), 100-103.

- Louro, L. C. (2009). *Metaverse: The learning in the immersive worlds*. Slactions.
- Low, S., & Smart, A. (2020). Thoughts about public space during Covid-19 pandemic. *City & Society, 32*(1), 1-5. <https://doi.org/10.1111/ciso.12260>
- MacCallum, K., & Parsons, D. (2019, September 16-18). *Teacher perspectives on mobile augmented reality: The potential of metaverse for learning* [Conference session]. World Conference on Mobile and Contextual Learning. Delft, Netherlands. <https://www.learntechlib.org/p/210597>
- Maharg, P., & Owen, M. (2007). Simulations, learning and the meta-verse: Changing cultures in legal education. *Journal of Information, Law, Technology, 1*(1), 1-28.
- Mahn, H. (1999). Vygotsky's methodological contribution to sociocultural theory. *Remedial and Special Education, 24*(6), 341-350. <https://doi.org/10.1177/074193259902000607>
- Mandinach, E. B., & Cline, H. F. (2013). *Classroom dynamics: Implementing a technology-based learning environment*. Routledge.
- Moon, J. Y., Moon, J. H., & Bae, S. H. (2021). Control for Manipulator of an underwater robot using meta reinforcement learning. *The Journal of the Korea institute of Electronic Communication Sciences, 14*(1), 95-100. 문지윤, 문장혁, 배성훈(2021). 메타강화학습을 이용한 수중로봇 매니플레이터 제어. *한국전자통신학회 논문지, 16*(1), 95-100.
- Nguyen, D. C., Ding, M., Pathirana, P. N., Seneviratne, A., Li, J., & Poor, H. V. (2021). *Federated learning for internet of things: A comprehensive survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3075439>
- Nichol, A., Achiam, J., & Schulman, J. (2018). *On first-order meta-learning algorithms*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.02999>
- O'Malley, C. (Ed.). (2012). *Computer supported collaborative learning* (Vol. 128). Springer Science & Business Media.
- Persico, D., & Steffens, K. (2017). Self-regulated learning in technology enhanced learning environments. In E. Duval, M. Sharples, & R. Sutherland (Eds.), *Technology enhanced learning* (pp. 115-126). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02600-8_11
- Prodromidis, A., Chan, P., & Stolfo, S. (2000). Meta-learning in distributed data mining systems: Issues and approaches. *Advances in Distributed and Parallel Knowledge Discovery, 3*(0), 81-114.
- Rahman, S. A., Tout, H., Talhi, C., & Mourad, A. (2020). Internet of things intrusion

- detection: Centralized, on-device, or federated learning?. *IEEE Network*, 34(6), 310-317. <https://doi.org/10.1109/MNET.011.2000286>
- Raja, A., & Cox, M. T. (2011). *Metareasoning: Thinking about thinking*. MIT Press.
- Rätty, H., & Snellman, L. (1992). Making the unfamiliar familiar—some notes on the criticism of the theory of social representations. *Papers on Social Representations*, 1(1), 3-13.
- Reed, I. A. (2010). Epistemology contextualized: Social-scientific knowledge in a postpositivist era. *Sociological Theory*, 28(1), 20-39. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9558.2009.01365.x>
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998, April 18-23). *Digital manipulatives: New toys to think with*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 281-287). <https://doi.org/10.1145/274644.274684>
- Resta, P., & Laferrière, T. (2007). Technology in support of collaborative learning. *Educational Psychology Review*, 19(1), 65-83. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9042-7>
- Russell, S. J. (1997). Rationality and intelligence. *Artificial Intelligence*, 94(1-2), 57-77.
- Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R. J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: A literature review. *Virtual Reality*, 25(1), 257-277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>
- Scott, P., & Phillips, M. (1998). Developing web-based student support systems: Telling student stories on the Internet. In M. Eisenstadt & T. Vincent (Eds.), *The knowledge web: Learning and collaborating on the net*. Kogan Page.
- Scott, S., & Palincsar, A. (2013). *Sociocultural theory*. Education.com. https://www.dr-hatfield.com/theorists/resources/sociocultural_theory.pdf
- Seo, M. S. (2016). A review on virtual reality and its development. *Korea Multimedia Society*, 20(4), 9-13. 서민석(2016). 가상현실과 가상현실 발전에 관한 고찰. *한국멀티미디어학회지*, 20(4), 9-13.
- Shaffer, D. W., & Clinton, K. A. (2017). Why all CSL is CL: Distributed mind and the future of computer supported collaborative learning. In T. Koschmann, D. Suthers, & T. Wai (Eds.), *Computer supported collaborative learning 2005: The next 10 years!* (pp. 592-601). Routledge.
- Shin, B. S. (2020). Study of content-area language teaching for the improvement of KSL learners' disciplinary literacy [Unpublished doctoral dissertation]. Seoul National

- University. 신범숙(2020). 한국어 (KSL) 학습자의 학업 문식성 향상을 위한 교과 언어 교육 연구. 박사학위논문. 서울대학교.
- Sirkemaa, S. (2006). Information technology in developing a meta-learning environment. *European Journal of Open, Distance and E-Learning*, 9(2), 1-7.
- Snelbecker, G. E. (1983). *Is instructional theory alive and well? Instructional design theories and models: An overview of their current status*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Sørensen, E. (2009). *The materiality of learning: Technology and knowledge in educational practice*. Cambridge University Press.
- Sparkes, M. (2021). What is a metaverse. *NewScientist*, Advance online publication. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(21\)01450-0](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(21)01450-0)
- Stahl, G. (2005). Group cognition in computer-assisted collaborative learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(2), 79-90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2005.0115.x>
- Steedman, M. (1997). Temporality. In J. Bentham & A. Meulen (Eds.), *Handbook of logic and language* (pp. 895-938). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-044481714-3/50021-7>
- Stolfo, S. J., Prodromidis, A. L., Tselepis, S., Lee, W., Fan, D. W., & Chan, P. K. (1997). JAM: Java Agents for Meta-Learning over distributed databases. *AAAI Technical Report*, WS-97-07, 91-98. <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/1997/WS-97-07/WS97-07-016.pdf>
- Sumner, T., & Taylor, J. (1998). Media integration through meta-learning environments. In M. Eisenstadt & T. Vincent (Eds.), *The knowledge web: Learning and collaborating on the net*. Kogan Page.
- Sun, R., Zhang, X., & Mathews, R. (2006). Modeling meta-cognition in a cognitive architecture. *Cognitive Systems Research*, 7(4), 327-338. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2005.09.001>
- Tarouco, L., Gorziza, B., Corrêa, Y., Amaral, É. M., & Müller, T. (2013, March 13-15). *Virtual laboratory for teaching Calculus: An immersive experience* [Conference session]. 2013 IEEE Global Engineering Education Conference, Berlin, Germany.
- Tennyson, R. D. (1990). Cognitive learning theory linked to instructional theory. *Journal of Structural Learning*, 10(3), 249-258.
- van Merriënboer, J. J., McKenney, S., Cullinan, D., & Heuer, J. (2017). Aligning pedagogy with physical learning spaces. *European Journal of Education*, 52(3),

- 253-267. <https://doi.org/10.1111/ejed.12225>
- Vanschoren, J. (2018). *Meta-learning: A survey*. Arxiv, Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.03548>
- Véliz, C. (2021). Privacy and digital ethics after the pandemic. *Nature Electronics*, 4(1), 10-11. <https://doi.org/10.1038/s41928-020-00536-y>
- Vilalta, R., & Drissi, Y. (2002). A perspective view and survey of meta-learning. *Artificial Intelligence Review*, 18(2), 77-95. <https://doi.org/10.1023/A:1019956318069>
- Vinyals, O., Blundell, C., Lillicrap, T., & Wierstra, D. (2016, December 5-10). *Matching networks for one shot learning* [Conference session]. Neural Information Processing Systems, Barcelona, Spain. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2016/hash/90e1357833654983612fb05e3ec9148c-Abstract.html>
- Wen, Y., & Looi, C. K. (2019). Review of augmented reality in education: Situated learning with digital and non-digital resources. In P. Díaz, A. Ioannou, K. K. Bhagat, & J. M. Spector (Eds.), *Learning in a digital world* (pp. 179-193). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_9
- Yang, H. J., Lee, K. H., & Kim, N. H. (2019). An exploratory study on the creative classroom environment of the university. *Global Creative Leader: Education & Learning*, 9(1), 1-26. <https://doi.org/10.34226/gcl.2019.9.5.1> 양혜진, 이경화, 김남효 (2019). 대학의 창의적 교실환경에 관한 탐색적 연구. *Global Creative Leader: Education & Learning*, 9(1), 1-26.
- Zhang, J., He, Y., Li, Y. W., Wen, C. K., & Jin, S. (2020). Meta learning-based MIMO detectors: Design, simulation, and experimental test. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(2), 1122-1137. <https://doi.org/10.1109/TWC.2020.3030882>