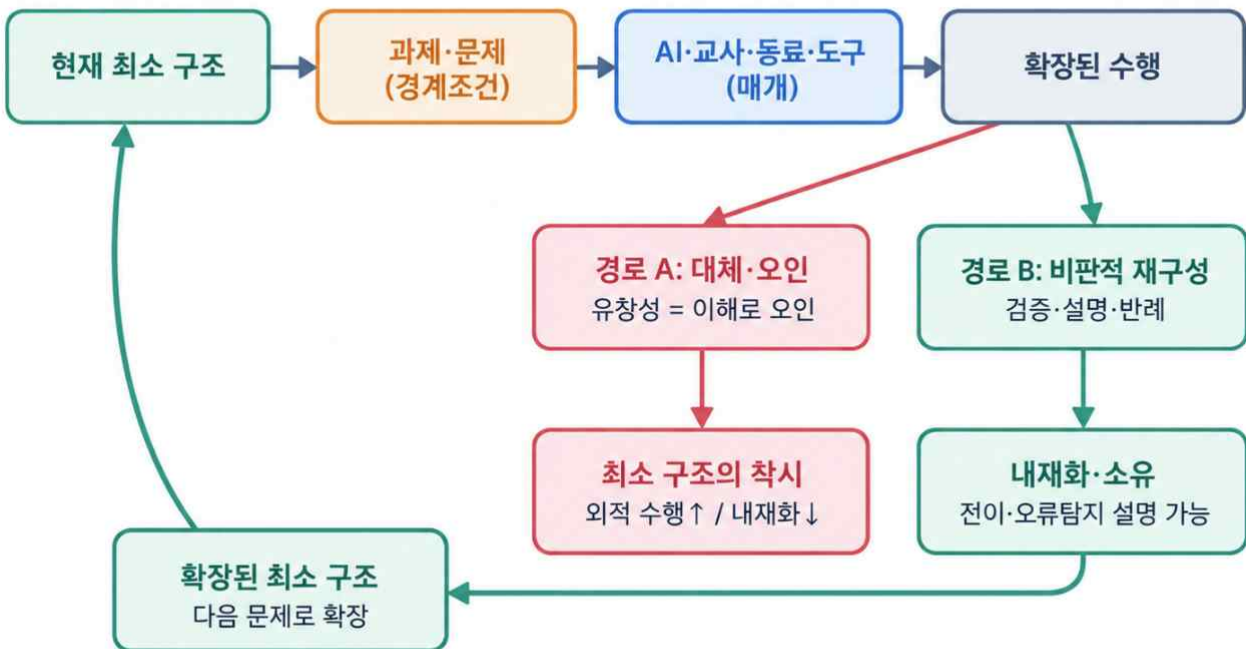


최소 구조는 고체가 아닙니다. 오히려 변화무쌍한 유체입니다.

Piaget·Vygotsky의 비판적 계승에서
‘최소 구조의 착시’와 AI-확장 구성주의까지

개념적·이론적 탐색 칼럼

AI-확장 구성주의의 통합 모형



AI는 구성의 ‘주체’를 대체하는 것이 아니라 구성 범위와 속도를 바꾸는 매개 환경이다.

AI-확장 구성주의와 최소 구조의 착시: 통합 모형 미리보기

※ 본 글의 “유동적 최소 구조”, “최소 구조의 착시”, “AI-확장 구성주의”는 기존 이론을 재구성해 제안하는 잠정적 개념입니다.

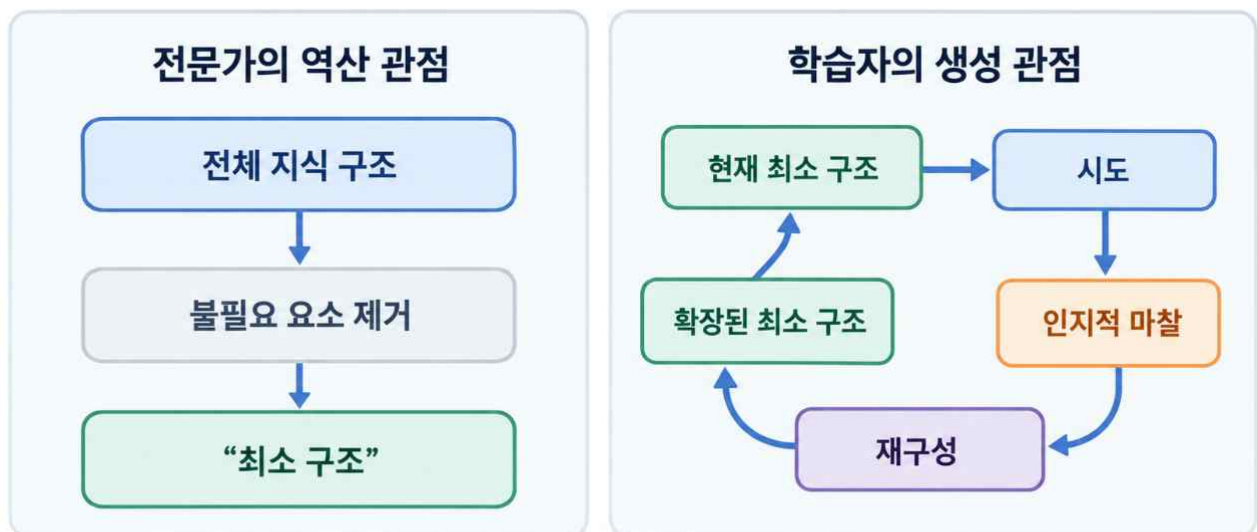
유동적 최소 구조와 AI-확장 구성주의

출발점: ‘최소’를 알려면 전체를 먼저 알아야 합니까?

‘최소 구조’라는 말을 들으면 즉시 역설이 생깁니다. 어떤 구조가 최소라는 사실을 판단하려면 무엇을 제거해도 되는지, 무엇을 남겨야 하는지를 알아야 합니다. 그렇다면 결국 전체 구조를 먼저 알아야 하지 않습니까? 특히 특정 영역에 숙련된 교사는 이 문제를 강하게 느낍니다. 이차함수의 그래프, 식, 계수, 꼭짓점, 대칭축, 최댓값과 최솟값, 방정식과의 관계를 이미 알고 있는 교사는 학생에게 필요한 최소 요소를 전체 체계에서 ‘빼내는’ 방식으로 생각하기 쉽습니다.

그러나 학습자의 실제 경험은 반대 방향일 수 있습니다. 코딩을 처음 배우는 사람은 언어의 전체 문법, 런타임, 네트워크, 데이터베이스, 배포 구조를 모두 이해한 뒤 프로그램을 만들지 않습니다. 지금 필요한 기능을 구현할 만큼의 구조로 먼저 움직이고, 막히는 지점에서 새로운 개념을 확보하며, 그 과정에서 기존 이해 자체를 다시 조직합니다. 여기서 최소 구조는 전체 구조에서 사후적으로 계산되는 최솟값이 아니라, 현재 상태에서 다음 판단과 행동을 가능하게 하는 ‘국소적 충분 구조’에 가깝습니다.

“전체에서 최소를 추출”하는 관점과 “최소에서 확장”하는 관점



핵심: 최소는 “전체의 축소판”이 아니라 현재 판단과 행동을 가능하게 하는 잠정적 구조다.

그림 1. 전문가의 역산 관점과 학습자의 생성 관점

따라서 본 글에서 최소 구조는 네 가지 성질을 갖습니다. 첫째, 과제 상대적입니다. 같은 학습자라도 무엇을 판단하려는데 따라 필요한 구조가 달라집니다. 둘째, 학습자 상대적입니다. 이미 가진 선행지식에 따라 필요한 연결의 양이 달라집니다. 셋째, 시간적으로 잠정적입니다. 오늘의 최소 구조는 내일 새로운 문제를 만난 뒤 달라질 수 있습니다. 넷째, 양(quantity)보다 관계(structure)의 개념입니다. ‘얼마나 많이 아는가’보다 현재 가진 요소들이 어떤 관계로 조직되어 있는가가 중요합니다.

Piaget: 구조의 재조직은 수용하되 고정된 단계와 안정적 평형은 약화합니다.

Piaget의 이론은 최소 구조를 설명하는 데 중요한 출발점을 제공합니다. 스키마는 경험을 조직하는 구조이고, 동화는 새로운 경험을 기존 스키마로 해석하는 과정이며, 조절은 기존 스키마가 충분하지 않을 때 구조 자체를 수정하는 과정입니다. 평형화는 이러한 동화와 조절 사이에서 더 정합적인 구조를 형성해 가는 발달 메커니즘을 설명합니다(Piaget, 1952, 1977). 이 점은 “새로운 정보가 단순히 지식 목록에 추가되는 것이 아니라 기존 관계 자체를 바꾼다”는 유동적 최소 구조의 생각과 잘 맞습니다.

특히 수용할 부분은 ‘인지적 불균형이 구조 변화를 촉발한다’는 점입니다. 학습자는 현재의 최소 구조로 문제를 해석합니다. 기존 구조가 충분하면 동화가 일어나고, 충분하지 않으면 불일치가 발생합니다. 이때 새로운 요소를 단순히 덧붙이는 것이 아니라 기존 관계를 바꾸어야 한다면 조절이 요구됩니다. 즉 최소 구조의 확장은 축적보다 재조직의 문제입니다.

그러나 그대로 수용하기 어려운 부분도 있습니다. Piaget의 고전적 단계론은 인지발달을 비교적 보편적이고 순차적인 단계로 설명해 왔습니다. 반면 실제 학습 수행은 영역지식, 과제 표상, 경험, 문화적 도구에 따라 훨씬 비동시적이고 국소적으로 나타날 수 있습니다. 사실 최근처럼 학생들이 인공지능을 비교적 쉽게 쓸 수 있는 환경이 되면 학습은 더 비동시적이며 국소적이 됩니다. 유동적 최소 구조는 ‘어느 단계에 있는가’보다 ‘지금 이 문제를 어떤 구조로 해석하고 있는가’를 더 중요한 분석 단위로 삼습니다. 또한 평형을 발달의 안정적 도착점으로 읽기보다, 일시적 안정 뒤에 다시 불균형이 나타나는 지속적 재구성 과정으로 보는 편이 적절합니다.

Piaget에서 계승하는 것 / 수정하는 것

계승: 스키마, 동화·조절, 불균형과 재조직. 수정: 보편적 단계성, 개인 내부에 닫힌 구조, 평형을 최종적 안정 상태로 보는 해석. 최소 구조에서는 구조의 “안정”보다 문제에 의해 반복적으로 변형되는 국소적 재구성이 중심이 됩니다.

Vygotsky: 매개와 ZPD는 수용하되, ‘도움을 받으면 할 수 있음 = 내 구조’는 아닙니다

Vygotsky의 사회문화적 관점은 최소 구조를 개인 내부의 심리적 구조만으로 설명하지 않도록 해줍니다. 고등정신기능은 문화적 도구와 타인과의 상호작용을 통해 매개되며, 근접발달영역(ZPD)은 독립 수행 수준과 타인의 지원 아래 가능한 수행 사이의 차이에 주목합니다(Vygotsky, 1978). 이 관점은 학습이 이미 완성된 내적 구조에서만 시작되는 것이 아니라, 타인·언어·표상·도구와의 상호작용 속에서 가능해진다는 점을 강하게 보여줍니다.

여기서 중요한 구분이 하나 있습니다. 교육 담론에서는 ZPD와 scaffolding을 거의 동일한 개념처럼 사용하는 경우가 많지만, scaffolding이라는 용어는 Wood, Bruner, Ross(1976)의 튜터링 연구에서 정식화되었습니다. 둘은 밀접하게 연결되지만 동일한 개념은 아닙니다. 이 구분은 AI 시대에 특히 중요합니다. AI의 지원을 'ZPD를 자동으로 넓혀 주는 비계'라고 부르면, 지원받은 수행이 곧 발달 또는 내재화를 뜻하는 것처럼 오해하기 쉽기 때문입니다. 그런데 우리가 AI가 한 것을 다 이해하지 못하죠? 그렇기 때문에 도움을 받으면 할 수 있다는 믿음에 큰 오류가 생깁니다.

Vygotsky에서 수용할 핵심은 매개와 상호작용, 그리고 “현재 혼자 할 수 있는 것”만으로 학습 가능성을 판단하지 않는 시각입니다. 그러나 AI 환경에서는 전통적 ZPD의 한 전제가 흔들립니다. 인간 튜터는 일반적으로 학습자보다 해당 과제에 대해 더 많은 지식과 맥락적 판단을 가진 ‘더 유능한 타자’로 가정될 수 있지만, 생성형 AI는 높은 유창성과 폭넓은 정보 생성 능력을 가지면서도 오류를 만들 수 있고, 맥락을 오해하며, 스스로 인식적 책임을 지지 않습니다. 따라서 AI를 곧바로 ‘더 유능한 타자’와 동일시하기보다, 학습자의 사고를 확장하거나 왜곡할 수 있는 ‘반응적 인식 매개체(responsive epistemic mediator)’로 보는 것이 안전합니다.

Piaget와 Vygotsky의 비판적 계승을 통한 유동적 최소 구조

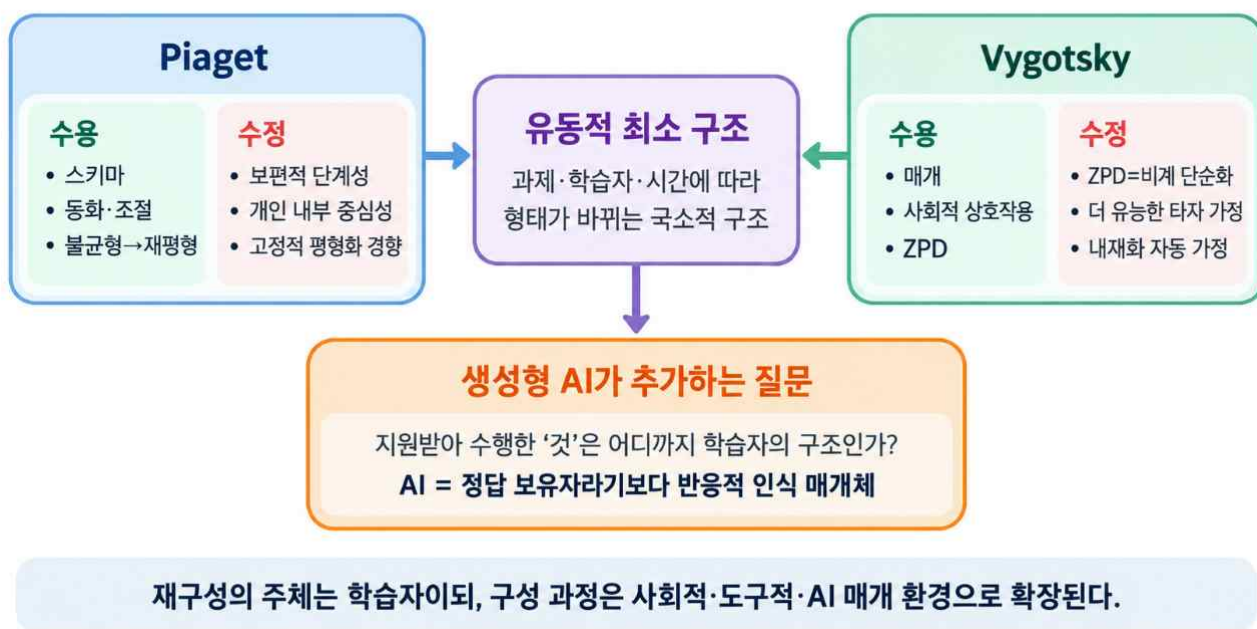


그림 2. Piaget와 Vygotsky의 비판적 계승 및 AI 매개의 추가

땅따먹기에서 유체로: 최소 구조의 유동성

최소 구조를 처음 직관화하기 위해 다들 어렸을 때 해본 ‘땅따먹기’를 생각해봅시다. 다들 해보셨을거라 믿습니다. 학습자는 처음부터 전체 지도를 소유하지 않습니다. 현재 확보한 영역에서 판단하고 움직이다가 새로운 문제를 만나면 필요한 만큼 경계를 넓힙니다. 이 비유는 전체 지식의 선행 획득이 학습의 전제조건이 아님을 보여줍니다.

하지만 땅따먹기에는 한계가 있습니다. 이미 차지한 땅은 대체로 그대로 남아 있고 바깥으로 영토만 넓어지는 것으로 보이기 때문입니다. 그리고 처음에 땅따먹기를 할 땅의 경계를 설정해 버리면 지식의 확장이 유한하다는 한계를 명시한 것이 되기 때문에 큰 문제가 있습니다.

실제 학습에서는 새로운 지식이 들어오면 과거 지식의 의미와 관계까지 바뀝니다. 예컨대 ‘이차함수는 포물선’이라는 이해는 계수, 꼭짓점, 대칭성, 변화율, 방정식과의 연결을 만나면서 단순히 항목이 추가되는 것이 아니라 ‘함수식의 변화가 그래프의 구조를 어떻게 바꾸는가’라는 관계적 이해로 재조직될 수 있습니다.

이 지점에서 유체의 비유가 더 적절하다고 생각합니다. 유체는 하나의 고정된 모양을 유지하는 물체라기보다, 놓인 조건과 공간에 따라 흐르고 형태를 바꾸는 존재입니다. 참고로 실제 유체의 운동을 기술하는 대표적인 수학적 도구가 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equations)입니다. 이 글에서는 이 방정식을 학습이론에 대응시키거나 해석하지 않고, 유체라는 비유의 물리학적 배경을 보여 주는 참고로만 제시합니다. 그저 재미로 보시죠

FLOW CONNECTS PHYSICS AND A BRIGHTER WORLD

Navier-Stokes equations

참고 | 나비에-스토크스 방정식

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}$$
$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

비압축성 뉴턴 유체를 나타내는 대표적 형태 · 본문에서는 유체 비유의 배경으로만 제시

FLUID DYNAMICS BRIDGES SCALES AND IDEAS

FLUIDS SHAPE A BRIGHTER TOMORROW

FROM FLOW TO A DEEPER UNDERSTANDING

이 글에서 가져오는 것은 방정식의 개별 항이 아니라 ‘유체적’이라는 직관입니다. 물은 새로운 공간에 놓이면 그 공간에 맞게 형태를 바꾸지만, 단지 바깥으로 양만 늘어나는 것은 아닙니다. 내부의 흐름과 위치 관계도 함께 달라집니다. 최소 구조 역시 새 지식이 기존 지식 옆에 하나씩 붙는 고체적 축적보다, 새로운 문제를 만날 때 기존 개념들 사이의 관계까지 다시 짜이는 유동적 재구성으로 이해할 수 있습니다.

따라서 유체 비유의 핵심은 단순합니다. 같은 물이 컵, 관, 넓은 그릇에서 서로 다른 모양과 흐름을 보이듯, 학습자의 현재 구조도 문제의 표현, 사용 가능한 도구, 질문 방식, 이전 경험에 따라 서로 다르게 활성화될 수 있습니다. 여기서 중요한 것은 특정 물리량을 심리적 개념과 일대일로 대응시키는 것이 아니라, 구조가 맥락 속에서 변형되고 다시 조직될 수 있다는 점입니다.

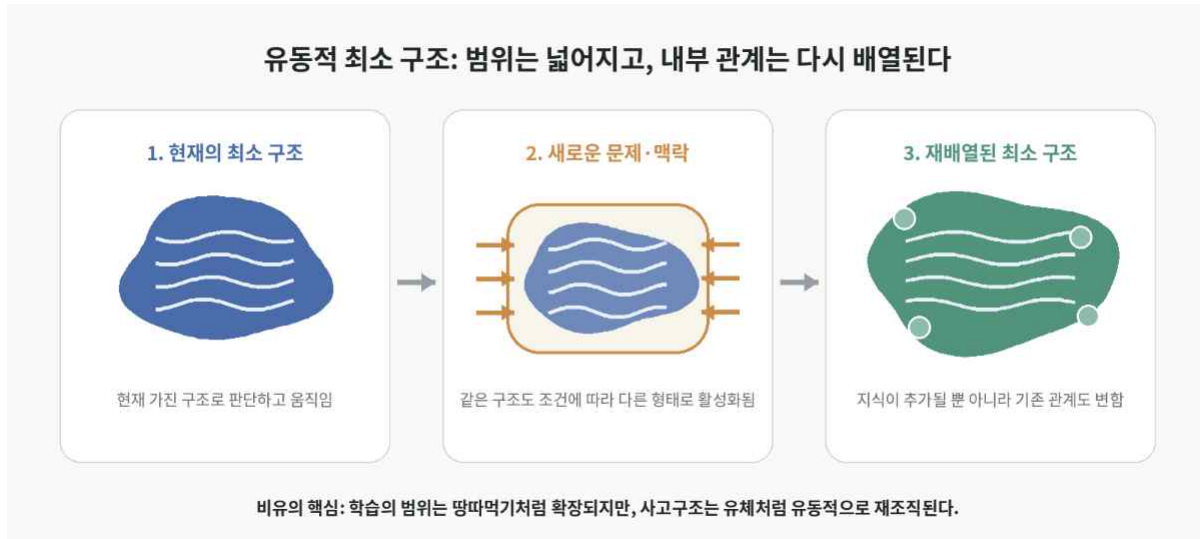


그림 3. 유동적 최소 구조의 비유: 범위의 확장과 내부 관계의 재배열

이 유체 비유는 어디까지나 사고를 돕기 위한 은유입니다. 나비에-스토크스 방정식의 압력, 점성, 외력 같은 항을 인지할등이나 교사·AI의 개입과 일대일로 대응시키는 것은 이 글의 주장이 아닙니다. 물리학의 방정식을 학습의 수학적 모델로 사용하려는 것도 아닙니다. 비유가 전달하려는 것은 오직 하나, 학습자의 구조가 완성된 고체처럼 고정되어 있기보다 경험과 문제 상황 속에서 계속 변형될 수 있다는 생각입니다.

그 결과 최소 구조는 ‘전체 지식에서 덜어 낸 가장 작은 고정 묶음’이라기보다, 현재의 문제를 해석하고 다음 판단을 가능하게 하는 잠정적 구조로 볼 수 있습니다. 학습의 범위는 땅따먹기처럼 넓어질 수 있지만, 그 과정에서 이미 알고 있던 내용의 관계도 다시 배열됩니다. 즉 범위의 확장과 내부 구조의 재조직이 동시에 일어난다는 것이 유체 비유의 핵심입니다.

생성형 AI가 전통적 구성주의에 던지는 새로운 문제

구성주의의 핵심 명제는 학습자가 지식을 수동적으로 전달받는 것이 아니라 경험과 상호작용 속에서 능동적으로 구성한다는 것입니다. 그러나 생성형 AI는 ‘구성’의 외형을 학습자보다 먼저 생산할 수 있습니다. 학습자가 이론 간 관계를 아직 이해하지 못해도 비교표를 만들 수 있고, 프로그래밍 논리를 이해하지 못해도 작동하는 코드를 얻을 수 있으며, 논증을 충분히 형성하지 못해도 완성도 높은 문단을 생성할 수 있습니다. 이는 구성주의의 중심 질문을 ‘학습자가 무엇을 구성했는가’에서 ‘누가, 어떤 과정으로, 어느 부분을 구성했는가’로 확장시킵니다.

최근 연구에서도 생성형 AI가 과제 진입 장벽을 낮추고 학습을 지원할 가능성과 동시에 인지적 오프로딩, 메타인지적 이탈, 인식적 행위성의 약화 가능성이 함께 논의되고 있습니다. 2026년의 구성주의 기반 GenAI pedagogical agent 설계 프레임워크는 학습자의 능동적 참여와 깊은 인지·메타인지 과정을 보존하면서 negative agency transference, cognitive offloading, de-skilling을 경계해야 한다고 강조합니다(Liu et al., 2026). 또한 Gao와 Zhang(2026)의 질적 연구는 AI가 만든 유창성과 학습자가 실제로 소유한 이해 사이에서 ‘metacognitive calibration crisis’가 나타날 수 있으며, 이를 극복하기 위해 출처 확인, 자기 설명, 맥락화, 반론 생성과 같은 비판적 재구성이 필요하다고 보고했습니다.

따라서 AI를 구성주의에 단순히 ‘새로운 도구’로 추가하는 것만으로는 충분하지 않습니다. AI는 계산기나 검색엔진보다 더 적극적으로 문제 표상, 설명, 연결, 문장, 코드, 논증을 생성합니다. 즉 학습자의 인지 과정 바깥에서 결과만 보조하는 것이 아니라, 학습자의 사고과정과 유사한 형식의 산출물을 제공합니다. 바로 이 점이 구성주의를 다시 설계하게 만듭니다. 구성주의의 가장 원초적인 관점인 학습자의 경험을 통해 개념이나 구조를 재구성한다는 관점도 전환할 필요가 있다고 봅니다.

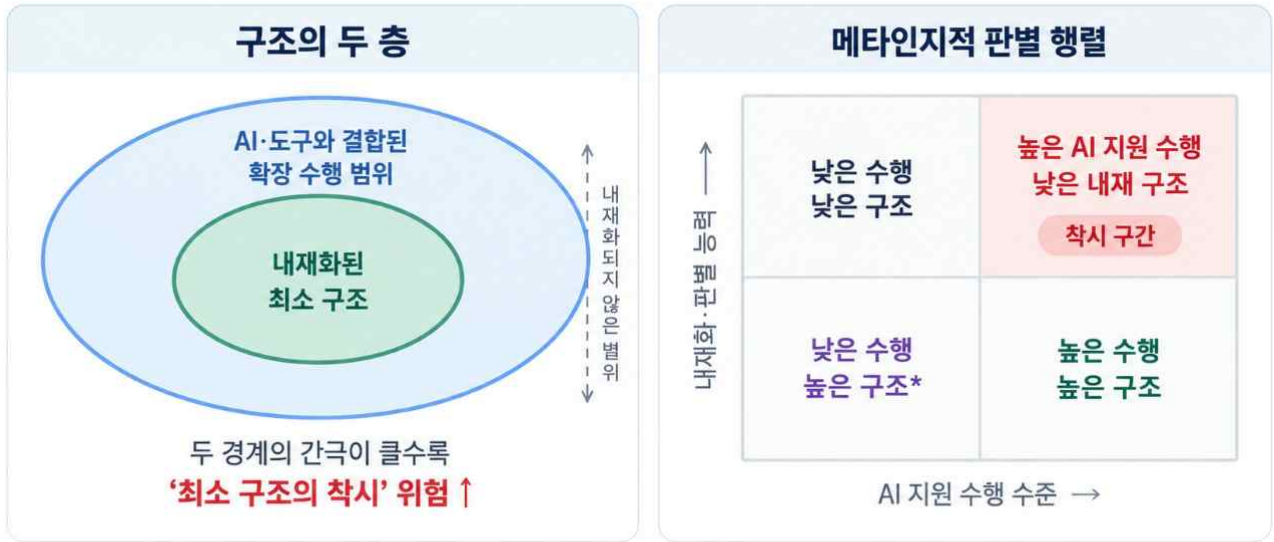
김수환, 최승준(2026)은 학습자가 AI와 상호작용하며 지식을 구성하는 과정을 ‘확장된 구성주의(Expanded Constructionism)’로 제안하였습니다. 이는 학습자의 경험을 통한 지식 구성이라는 원리를 부정하기보다, 그 경험의 범위를 AI와의 대화와 협력까지 넓히는 관점으로 이해할 수 있습니다. 이때 중요한 것은 AI가 생성한 설명을 곧바로 학습자의 이해로 간주하지 않는 것입니다. 학습자는 AI의 산출물을 자신의 기존 지식과 연결하고, 근거를 확인하며, 자신의 언어로 재구성하는 과정을 거쳐야 합니다. 따라서 확장된 구성주의에 기반한 교육은 AI를 통해 사고의 가능성을 넓히면서도, 무엇을 받아들이고 수정할 것인지 판단하는 학습자의 주체성을 중심에 두어야 합니다.

최소 구조의 착시: AI와 함께 할 수 있는 것과 내가 할 수 있는 것의 간극

본 글은 생성형 AI 환경에서 가장 중요한 위험 중 하나를 ‘최소 구조의 착시(minimal-structure illusion)’라고 부릅니다. 이는 AI·도구·타인의 도움을 포함한 확장된 수행 범위를 학습자가 자신의 내재화된 사고구조 범위로 오인하는 현상을 뜻합니다. 핵심은 AI 사용 자체가 문제가 아니라, 외부 지원의 기여와 자신의 구조를 구별하지 못하는 데 있습니다. ㉸

이를 위해 두 종류의 구조를 구분할 필요가 있습니다. 첫째, ‘내재화된 최소 구조(internalized minimal structure)’는 직접적 도움 없이도 학습자가 문제를 해석하고 판단하며 자신의 근거를 설명할 수 있게 하는 구조입니다. 둘째, ‘확장된 작동 구조(extended operational structure)’는 학습자의 기존 구조가 AI, 교사, 동료, 검색, 계산 도구와 결합되어 과제를 수행할 수 있게 만드는 분산된 구조입니다. 둘째가 나쁘다는 뜻은 아닙니다. 인간 인지는 오래전부터 언어, 문자, 표, 계산기, 인터넷과 함께 확장되어 왔습니다. 문제는 확장된 작동 구조의 크기를 내재화된 최소 구조의 크기로 착각하는 경우입니다.

최소 구조의 착시: 수행 확장과 내재화의 분리



핵심: ‘할 수 있음’이 곧 ‘내가 이해함’은 아니다. 설명·전이·오류탐지·자연 재구성이 경계를 가른다.

그림 4. 최소 구조의 착시: AI 지원 수행과 내재화된 구조의 간극

최소 구조의 착시

AI의 도움으로 문제를 풀고, 코드를 만들고, 글을 완성한 경험이 곧 학습자의 구조가 그 수준까지 확장되었다는 증거는 아닙니다. “AI와 함께 수행 가능한 범위”가 “AI 없이 설명·전이·오류탐지가 가능한 범위”보다 훨씬 클 때, 학습자는 자신의 구조를 과대평가할 수 있습니다.

더닝-크루거 효과는 어디까지 연결할 수 있습니까?

이 현상은 흔히 더닝-크루거 효과와 연결하고 싶어지는 지점이 있습니다. Kruger와 Dunning(1999)은 낮은 수행 집단이 자신의 수행을 크게 과대평가하는 패턴을 보고하고, 그 원인 중 하나로 정확성과 오류를 구분하는 데 필요한 메타인지적 능력의 부족을 제안했습니다. 아마 우리도 많이 느끼는 거죠. AI가 해준 것을 자기가 했다고 느끼는 것 말이에요. 저도 이것을 아주 경계하기 위해 노력합니다. 이 아이디어는 AI 환경의 최소 구조 착시와 직관적으로 닮아 있습니다. 필요한 지식이 충분하지 않을수록 AI 산출물의 오류와 한계를 판별하기 어려워지고, 동시에 AI가 만든 유창한 결과 때문에 자신이 이해했다고 판단할 가능성이 있기 때문입니다.

그러나 저는 ‘AI가 더닝-크루거 효과를 낳는다’라고 단정하고 싶지 않습니다. 더닝-크루거 효과의 크기와 해석에는 오랫동안 통계적 논쟁이 존재합니다. Gignac과 Zajenkowski(2020)는 전통적인 사분위 분석이 평균으로의 회귀와 better-than-average 효과의 영향을 받을 수 있으며 효과가 과장되었을 가능성을 제기했고, Magnus와 Peresetsky(2022)는 특정 패턴이 심리적 설명 없이도 통계적으로 재현될 수 있다고 주장했습니다. 반대로 이후 재분석에서는 작은 규모이지만 통계적으로 유의한 효과가 남는다는 결과도 보고되었습니다. 따라서 이 글에서 중요한 것은 ‘더닝-크루거’라는 유명한 라벨 자체가 아니라, 수행과 자기판단 사이의 메타인지적 보정(calibration) 문제입니다.

AI 환경에서는 이 보정 문제가 독특하게 강화될 수 있습니다. 전통적 학습에서는 구조가 부족하면 막힘, 오류, 느린 수행이 비교적 명확하게 나타납니다. 하지만 AI가 그 마찰을 즉시 제거하면 학습자는 자신의 한계를 감지할 신호를 잃을 수 있습니다. 즉 AI가 능력을 직접 떨어뜨린다기보다, “내가 어디까지 알고 있는가”를 판단하는 피드백 구조를 바꿀 수 있습니다. 그래서 최소 구조의 착시는 다닝-크루거 효과의 단순한 재명명이 아니라, AI 지원 수행과 내재화된 구조의 불일치에서 발생하는 구체적인 메타인지적 현상으로 다루는 편이 더 생산적입니다.

착시를 막는 핵심: 인지적 마찰과 내재화 관문

생성형 AI의 장점은 막힘을 줄이고 빠르게 다음 단계로 이동하게 한다는 데 있습니다. 그러나 학습에서 모든 마찰이 제거되어야 하는 것은 아닙니다. 어떤 마찰은 오류를 발견하고, 개념 간 경계를 구별하며, 자신의 이해 정도를 확인하게 하는 신호로 작용하며 긍정적인 효과를 내기도 합니다. 우리의 인지구조는 온실 속의 화초처럼 되어서는 안됩니다. 따라서 AI 시대의 수업 설계는 불필요한 마찰은 줄이되 학습에 필요한 ‘인지적·인식적 마찰(epistemic friction)’은 남겨야 합니다.

본 글에서는 외적으로 확장된 수행이 실제 최소 구조로 내재화되었는지를 확인하기 위한 네 가지 관문을 제안합니다. 첫째, 자기 설명(self-explanation): AI의 문장을 반복하는 것이 아니라 왜 그렇게 되는지 자신의 언어로 설명할 수 있습니까? 둘째, 전이(transfer): 표면이 달라진 새로운 문제에서도 동일한 구조를 적용할 수 있습니까? 셋째, 오류 탐지(error detection): AI가 일부러 또는 우연히 제공한 오류, 누락, 과잉 일반화를 식별하고 수정할 수 있습니까? 넷째, 지연 재구성(delayed reconstruction): 일정 시간이 지난 뒤 AI 없이 핵심 구조를 다시 구성할 수 있습니까?

확장 수행을 ‘내 구조’로 인정하기 위한 내재화 관문



관문을 통과할수록 ‘AI가 해준 것’이 ‘내가 소유한 구조’로 전환되었다고 볼 근거가 강해진다.

그림 5. 확장 수행을 내재화된 구조로 인정하기 위한 네 가지 관문

이 관문은 AI 사용을 금지하기 위한 장치가 아닙니다. 오히려 AI가 제공하는 확장성을 최대한 활용하면서 학습자의 소유권을 확인하는 장치입니다. 학습자는 AI와 함께 더 먼 곳까지 갈 수 있습니다. 다만 어느 지점부터가 자신의 구조가 아니라 외부 매개의 기여인지 확인하고, 필요한 부분을 다시 자신의 구조로 재구성해야 합니다.

AI-확장 구성주의: 구성주의를 폐기하는 것이 아니라 분석 단위를 넓힙니다

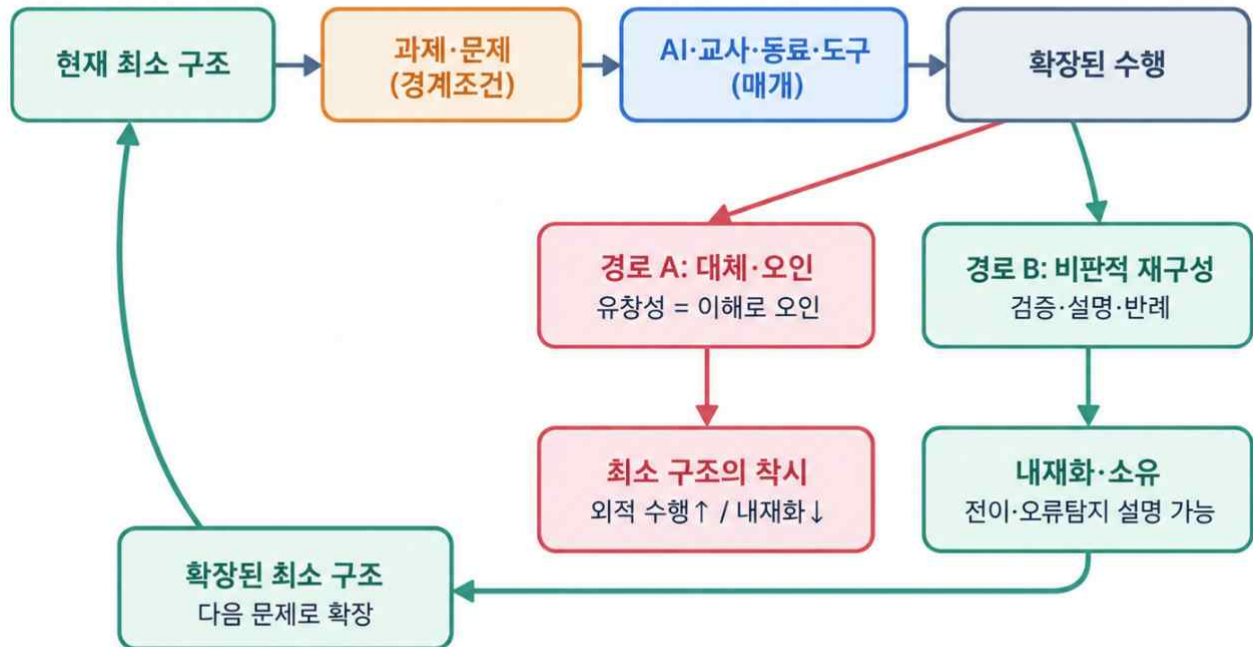
이제 구성주의를 다시 정의해 볼 수 있습니다. 전통적 구성주의가 ‘학습자는 경험을 통해 지식을 능동적으로 구성한다’는 명제를 중심에 두었다면, AI-확장 구성주의는 다음과 같이 수정할 수 있습니다.



‘학습자는 과제, 타인, 문화적 도구, 생성형 AI와의 상호작용 속에서 수행 가능한 구조를 확장하고, 그 확장된 구조를 검증·재구성·내재화함으로써 자신의 지식구조를 형성합니다.’

여기에서 구성의 단위는 더 이상 개인의 머릿속만이 아닙니다. Clark와 Chalmers(1998)의 확장된 마음 논의나 Hutchins(1995)의 분산인지처럼, 인간의 인지 수행은 외부 표상과 도구에 분산될 수 있습니다. 그러나 교육에서는 “분산된 수행이 가능하다”는 사실과 “학습자에게 구조가 형성되었다”는 사실을 구별해야 합니다. AI-확장 구성주의의 핵심은 인지를 무조건 개인 내부로 환원하지 않으면서도, 학습자의 인식적 책임과 내재화 여부를 포기하지 않는 데 있습니다.

AI-확장 구성주의의 통합 모형



AI는 구성의 '주체'를 대체하는 것이 아니라 구성 범위와 속도를 바꾸는 매개 환경이다.

그림 6. AI-확장 구성주의 통합 모형: 수행 확장, 착시, 재구성, 내재화

이 모형에서 AI는 두 가지 상반된 경로를 만듭니다. 하나는 대체(substitution)의 경로입니다. 학습자는 AI가 만든 결과를 수용하고 과제는 완성하지만 구조 자체는 충분히 변화하지 않습니다. 이 경우 외적 수행과 내재적 구조의 간극이 커지며 최소 구조의 착시가 발생합니다. 다른 하나는 비판적 재구성(critical reconstruction)의 경로입니다. 학습자는 AI 산출물을 검증하고, 설명하고, 반례를 만들고, 자신의 맥락에 맞게 수정합니다. 이 경우 외부에서 제공된 구조의 일부가 학습자의 구조로 내재화되며, 확장된 최소 구조가 다음 문제의 출발점이 됩니다.

기존 구성주의와 비교해서 무엇이 달라집니까?

관점	Piaget 중심	Vygotsky 중심	유동적 최소 구조	AI-확장 구성주의
주요 단위	스키마·인지구조	사회적 상호작용·매개	현재 과제에 필요한 국소적 구조	학습자-과제-AI/타인/도구의 결합 구조
변화 메커니즘	동화·조절·평형화	매개·내면화·ZPD	마찰에 따른 구조 재배열	수행 확장→검증→재구성→내재화
지원의 의미	불균형 촉발/조절 촉진	ZPD 내 수행 지원	경계조건·외력의 변화	확장을 돕거나 대체를 유발하는 매개
핵심 위험	단계적 과잉 일반화	지원=발달의 단순화	최소를 고정값으로 보는 것	확장 수행을 내재 구조로 오인
판별 질문	새 구조가 형성되었습니까?	도움 아래 무엇이 가능합니까?	지금 무엇으로 판단 가능합니까?	AI 없이도 설명·전이·오류탐지가 가능합니까?

이 표의 요지는 Piaget와 Vygotsky를 폐기하는 것이 아닙니다. 오히려 두 이론이 제공한 구조 변화와 사회문화적 매개의 통찰을 유지하면서 **생성형 AI 때문에 생긴 ‘수행과 구조의 분리’라는 문제를 추가하는 것입니다.** 구성주의의 핵심은 여전히 학습자의 능동적 구성에 있지만, 그 구성이 개인 내부에서만 일어난다고 볼 수 없고, 외부 매개가 제공한 수행을 그대로 학습으로 간주할 수도 없습니다.

수학교육에서의 예: 이차함수와 AI

예를 들어 학생이 이차함수의 최댓값·최솟값 문제를 해결한다고 가정해 보겠습니다. 학생의 현재 최소 구조가 ‘포물선에는 꼭짓점과 대칭축이 있다’ 정도라면, 특정 문제에서는 그것만으로도 판단을 시작할 수 있습니다. 이후 식의 형태가 바뀌고, 정의역 조건이 추가되고, 계수에 따라 그래프가 이동하는 문제를 만나면서 기존 구조는 확장되고 재배열됩니다.

여기에 생성형 AI가 들어오면 학생은 완전제곱식 변환, 그래프 해석, 풀이 문장을 즉시 얻을 수 있습니다. 이때 답을 얻었다는 사실만 보면 수행 범위가 급격히 넓어집니다. 그러나 학생이 왜 꼭짓점의 x좌표가 특정 값이 되는지 설명하지 못하고, 정의역이 바뀐 문제에 전이하지 못하며, AI가 제시한 부호 오류를 식별하지 못한다면 내재화된 최소 구조는 실제로 크게 확장되지 않았다고 볼 수 있습니다. 이것이 최소 구조의 착시입니다.

반대로 AI에게 여러 풀이를 생성하게 한 뒤 차이를 비교하고, 일부 풀이에 의도적으로 오류를 넣어 검토하게 하며, 마지막에는 AI 없이 새로운 문제를 설명하게 한다면 AI는 구조를 대신하는 도구가 아니라 구조의 변화를 촉발하는 매개체가 됩니다. 중요한 것은 AI 사용 여부가 아니라, AI와 함께 형성된 확장 수행이 비판적 재구성을 거쳐 학습자의 구조로 넘어왔는지 여부입니다.

이론적 명제와 검증 가능한 연구 질문

명제 1

최소 구조는 과제·학습자·시간에 따라 달라지는 국소적이고 잠정적인 구조이며, 전체 지식체계의 고정된 부분집합으로 환원되지 않습니다.

명제 2

생성형 AI는 학습자의 내재화된 구조가 변하지 않은 상태에서도 확장된 수행을 가능하게 할 수 있습니다.

명제 3

AI 지원 수행과 무지원 수행 사이의 격차가 크고 메타인지적 점검이 약할수록 최소 구조의 착시가 커질 가능성이 있습니다.

명제 4

자기 설명, 전이, 오류 탐지, 지연 재구성은 확장된 작동 구조가 내재화된 최소 구조로 전환되었는지를 판별하는 지표가 될 수 있습니다.

명제 5

AI를 대체가 아니라 비판적 재구성의 매개로 설계할수록 학습자의 인식적 행위성과 구조 소유가 유지될 가능성이 높습니다.

이 명제들은 경험적으로 검증할 수 있습니다. 예컨대 동일한 과제를 AI 사용 조건과 비사용 조건에서 수행하게 한 뒤 즉시 성과뿐 아니라 지연 전이, 오류 탐지, 자기 설명 정확도, 자신감-정확도 보정(calibration)을 측정할 수 있습니다. 또한 AI 사용 로그를 분석하여 단순 수용, 부분 수정, 출처 검증, 반례 요청, 자기 설명 생성 등의 상호작용 패턴이 내재화 지표와 어떻게 연결되는지 살펴볼 수 있습니다. 특히 “AI 사용 후 수행 향상”만을 학습 효과로 간주하지 않고, AI가 제거된 뒤 무엇이 남는지를 별도 결과변수로 두는 것이 중요합니다.

결론: 구성주의를 버리는 것이 아니라 AI 시대에 다시 유동화하기

최소 구조를 고정된 최솟값으로 본다면 결국 전체 구조를 먼저 알아야 한다는 역설에서 벗어나기 어렵습니다. 그러나 최소 구조를 현재의 문제를 해석하고 다음 행동을 가능하게 하는 잠정적 구조로 본다면 학습의 방향은 달라집니다. 학습자는 전체를 먼저 알고 최소를 추출하는 것이 아니라, 현재의 최소 구조로 움직이고, 문제와 충돌하고, 매개를 활용하고, 구조를 재구성하면서 다음 최소 구조를 만듭니다.

Piaget는 이러한 재조직의 내부 메커니즘을 설명하는 중요한 언어를 제공하고, Vygotsky는 그것이 타인과 문화적 도구의 매개 없이 일어나지 않는다는 사실을 보여줍니다. 생성형 AI는 여기에 새로운 조건을 추가합니다. 이제 외부 매개는 단순히 힌트나 표상을 제공하는 수준을 넘어, 학습자가 아직 구성하지 않은 결과의 형태를 먼저 만들어 줄 수 있습니다. 이 때문에 “구성이 일어났는가”를 결과물의 완성도로 판단하는 것은 더 이상 충분하지 않습니다.

AI 시대의 구성주의는 그래서 한 가지 질문을 더 가져야 합니다. ‘이 수행은 누구의 구조로 봐야합니까?’ 학습자가 AI와 함께 할 수 있는 것과 AI 없이도 설명·전이·오류탐지가 가능한 것 사이의 간극을 인식하고, 그 간극을 비판적 재구성으로 좁히는 과정이 학습의 중심이 되어야 합니다. 이 글에서 제안한 최소 구조의 착시는 바로 그 간극을 명명하기 위한 개념이고, AI-확장 구성주의는 그 간극이 생기고 줄어드는 전체 과정을 설명하기 위한 잠정적 틀입니다.

한 문장으로 정리하면

학습의 범위는 땅따먹기처럼 넓어지지만 사고의 구조는 유체처럼 재배열됩니다. AI는 그 흐름을 빠르게 만들 수 있지만, 외적 흐름을 자신의 내적 구조로 착각하지 않도록 “설명·전이·오류탐지·지연 재구성”을 통해 소유 여부를 확인해야 합니다.

참고문헌

- 김수환, 최승준. (2026). 생성형 AI를 활용한 확장된 구성주의 모델 탐색. 컴퓨터교육학회 논문지, 29(2), 67-75.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7-19.
- Gao, L., & Zhang, F. (2026). Cognitive offloading and metacognitive calibration in generative AI-mediated doctoral learning: A grounded theory study of accountable reconstruction. *Frontiers in Psychology*, 17, 1920947. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1920947>
- Gignac, G. E., & Zajenkowski, M. (2020). The Dunning-Kruger effect is (mostly) a statistical artefact: Valid approaches to testing the hypothesis with individual differences data. *Intelligence*, 80, 101449.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT Press.
- Kruger, J., & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it: How difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(6), 1121-1134. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.77.6.1121>
- Liu, C.-C., Tsai, C.-C., Yilmaz, R., Wu, J.-Y., Ranieri, M., Zou, D., Archambault, L., van Braak, J., & Biswas, G. (2026). The Design Framework for Pedagogical Agents Supporting Constructivist Learning with Generative AI. *Computers & Education*, 105744 (in press).
- Magnus, J. R., & Peresetsky, A. A. (2022). A statistical explanation of the Dunning-Kruger effect. *Frontiers in Psychology*, 13, 840180. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.840180>
- Park, S., & Kim, O. (2025). Scaffolding with Generative AI in Language Classrooms: A Critical Thinking Framework. *Studies in Linguistics*, 77, 349-372. <https://doi.org/10.17002/sil.77.202510.349>
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. International Universities Press.
- Piaget, J. (1977). *The Development of Thought: Equilibration of Cognitive Structures*. Viking.
- Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 676-688.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>