2026 CNUE NATURE OF SCIENCE

과학의 상상력: 모델과 표상

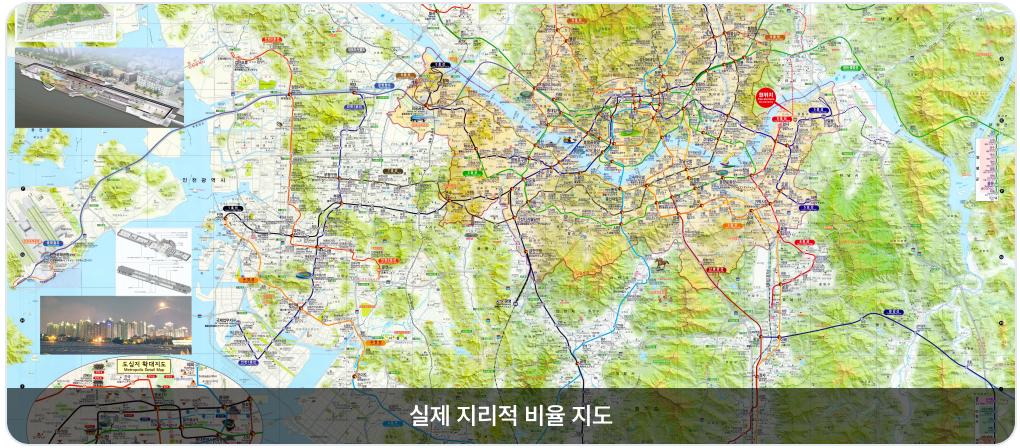
The Imagination of Science: Models and Representations

춘천교육대학교 과학교육과 가석현

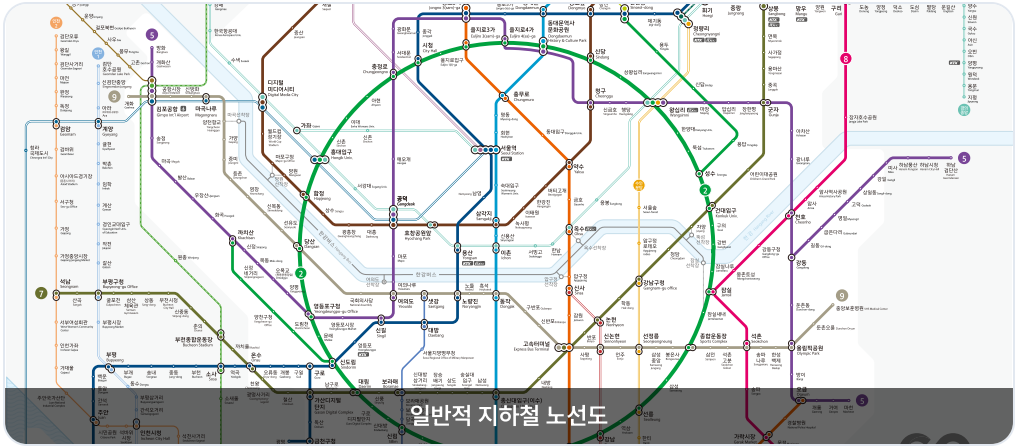
초등 과학교육에서의 의도된 단순화와 오개념 극복

13주차 (어린이날 대체보강 30분 포함)

도입: 지하철 노선도는 '틀린' 지도일까?



실제 지리적 비율 지도



일반적 지하철 노선도

지리적 방위와 거리가 심각하게 **왜곡/생략**되어 있는데도

우리가 노선도를 **가장 훌륭한 지도(모델)**라고 부르는 이유는 무엇일까요?

학습 목표

1. 과학적 모델이 현실의 완벽한 복사본이 아닌 **‘의도적 단순화’**의 결과물임을 인식한다.
2. 교과서 속에 제시된 다양한 모델의 **‘설계 의도’(무엇을 생략/강조했는가)**를 분석할 수 있다.
3. 모델의 시각적 한계로 인해 초등학생이 가질 수 있는 **오개념을 예측**하고 대응을 준비한다.

SECTION 1

모델이란 무엇인가?

현실의 축소판이 아닌, 개념적 도구로서의 표상

과학적 모델(Scientific Model)의 정의

"관찰 불가능하거나 너무 복잡한 자연 현상(Target)을
이해, 설명, 예측하기 위해 고안된 **개념적·물리적 도구**"[1)]

일상적 의미의 모델 (오해)

- 패션 모델 (이상적인 롤모델)
- 프라모델 (실물과 똑같이 생긴 축소 모형)

과학적 의미의 모델 (NOS)

- 핵심만 남긴 "표상(Representation)"
- "구조"와 "관계"를 시각화한 사고의 틀

1) National Research Council (2012). A Framework for K-12 Science Education. The National Academies Press.

과학적 모델의 종류

물리적 모델 (Physical)

손으로 만질 수 있고 눈으로 볼 수 있는 구체적인 물체 형태

예: 지구본, DNA 스틱 모형, 인체 장기 모형

개념적 모델 (Conceptual)

보이지 않는 구조와 메커니즘을 시각적 기호나 다이어그램으로 표상한 것[2)]

예: 보어 원자 모형, 전자기장 선상도, 먹이사슬 도식

수학적 모델 (Mathematical)

변인 간의 양적 관계를 수식, 그래프, 컴퓨터 시뮬레이션으로 표상한 것

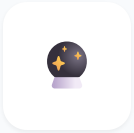
예: 이상기체 상태 방정식 ($PV = nRT$), 기후 변화 예측 시뮬레이터

2) Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. International Journal of Science Education.

모델은 왜 필요한가? (3가지 핵심 기능)

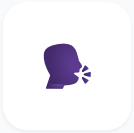
단순화 (Simplification)

복잡한 자연 현상에서 불필요한 '노이즈'를 제거하고 핵심 변인만 남깁니다. 이것은 결함이 아니라 고도의 인지적 전략입니다.



예측 (Prediction)

단순화된 관계를 바탕으로 변인이 바뀌었을 때 어떤 결과가 나타날지 연역적으로 추론하게 해줍니다.



소통 (Communication)

형태가 없는 추상적 이론을 시각화하여 과학자 공동체 및 학습자가 서로 논의할 수 있는 통용어로 작동합니다.

통찰: 통계학자 조지 박스(George Box)의 금언

> **"모든 모델은 틀렸다.**
> **그러나 유용하다."[3)]**

"All models are wrong, but some are useful." (Box, 1976)

어떤 모델도 자연의 복잡성을 100% 모사할 수 없습니다. 즉, 모델은 태생적으로 현실과 불일치합니다.
우리가 평가해야 할 것은 **"얼마나 똑같은가"**가 아니라 **"목적에 맞게 현상을 잘 설명하는가"**입니다.

3) Box, G. E. P. (1976). Science and statistics. Journal of the American Statistical Association.

인식론적 상태: 표적체(Target)와 모델

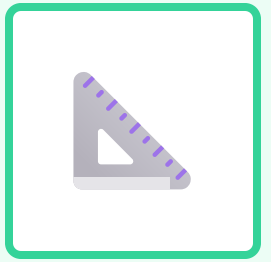
자연 현상 (Target)

무한히 복잡하고 다양한 변인이 얽힌 세계

추상화 / 단순화

과학적 모델 (Model)

목적에 맞춰 핵심 규칙만 남긴 단순화 세계



진단: 학생들은 모델을 어떻게 생각할까?

초등학생 영수의 질문 🤔

> *"선생님, 심장 모형은 진짜 심장이랑 똑같이 생겼는데, 왜 원자 모형은 교과서마다 맨날 다르게 생겼어요? 가짜라서 그래요?"*

소박한 실재론 (Naïve Realism)

학생들은 모델을 실재(Reality)의 완벽한 복제품으로 여깁니다. 눈에 안 보이는 것을 그린 모델을 '부정확한 그림'으로 오해합니다.

NOS적 교정 목표

"모든 모델은 학자가 개념을 설명하기 위해 짜낸 **아이디어(표상)**이며, 설명 목적에 따라 다르게 그려질 수 있다"를 안내해야 합니다.[4)]

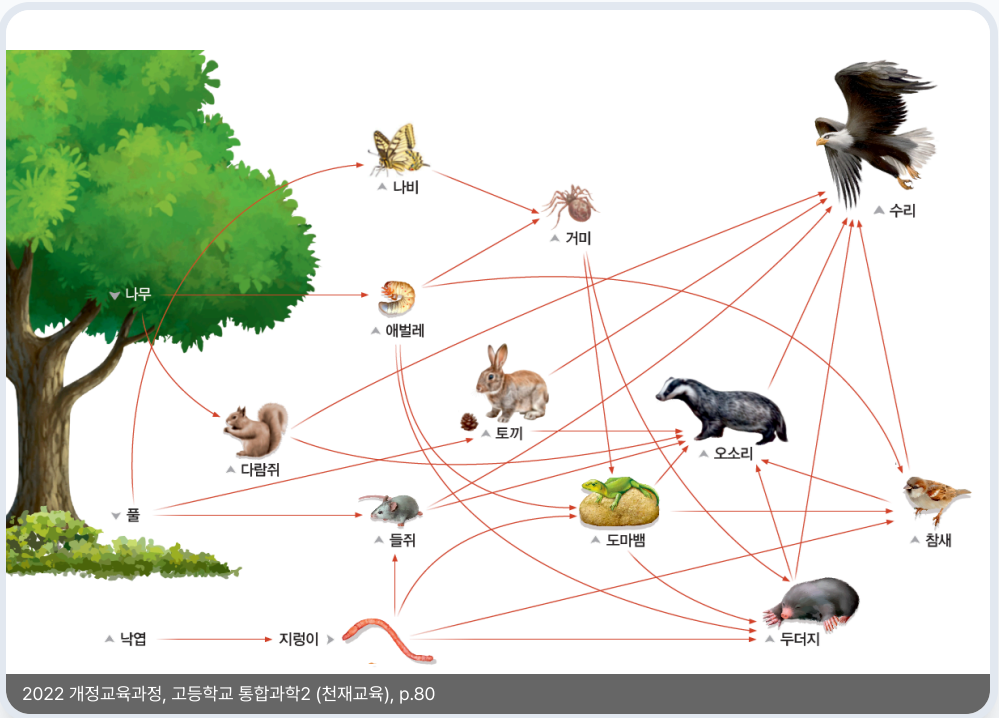
4) Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling... International Journal of Science Education.

SECTION 2

층위별 모델과 의도된 단순화

교과서가 무언가를 생략한 데에는 반드시 이유가 있습니다.

모델 사례 1: 먹이그물 모형



2022 개정교육과정, 고등학교 통합과학2 (천재교육), p.80

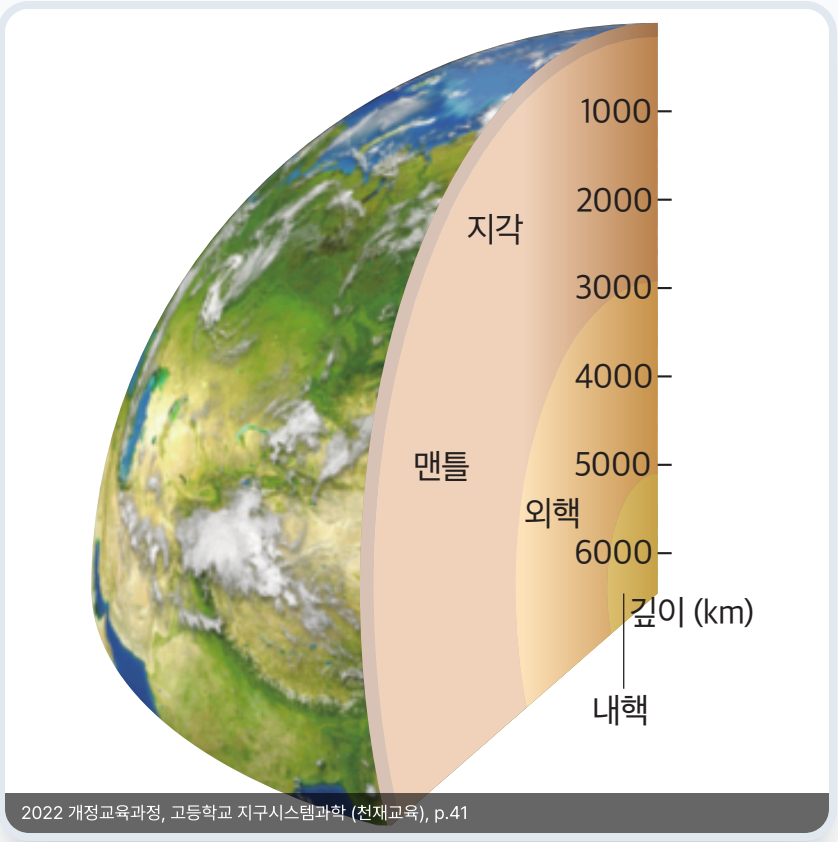
무엇을 보여주는가? (목적)

생태계 내에서 **유기물(에너지)의 이동 방향**을 직관적으로 보여줍니다.

무엇을 은폐/생략했는가? (단순화)

- 포식 관계의 복잡성 (수리는 토끼만 먹는가?)
- 개체수 비율 부족 (풀 하나가 토끼 한 마리 에너지를 감당?)
- 분해자(세균/버섯 등)의 역할 누락

모델 사례 2: 지구 내부 구조 모형



2022 개정교육과정, 고등학교 지구시스템과학 (천재교육), p.41

무엇을 보여주는가? (목적)

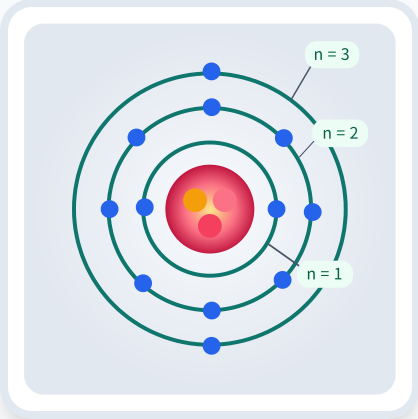
눈으로 직접 볼 수 없는 지구 내부가 지각, 맨틀, 외핵, 내핵의 **층상 구조**로 이뤄져 있음을 알 수 있습니다.

무엇을 은폐/생략했는가? (단순화)

- 물리적 상태 (외핵이 액체라는 사실을 색깔만으론 모름)
- 뚜렷한 색상 경계 (실제 땅 속에 노란색/빨간색 선이 존재하지 않음)
- 두께의 정확한 비율 체감 한계

모델 사례 3: 원자 모형

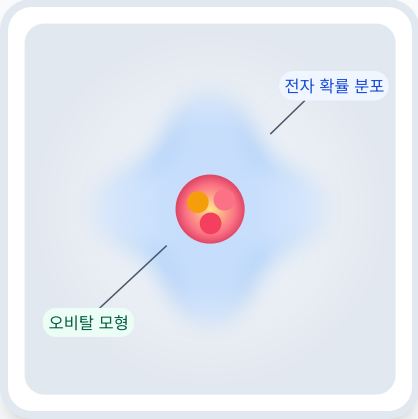
보어의 원자 모형



정지 궤도: 전자가 정해진 궤도를 돈다고 그림

n=1, n=2, n=3: 에너지 준위를 눈으로 바로 구분

양자역학적 전자구름 모형(오비탈 모형)



전자구름: 정확한 길 대신 존재 가능성이 큰 영역

오비탈: 전자가 있을 확률 분포를 시각화

중등 화학에서는 여전히 **보어 모형**을 사용하지만, 현대 물리학에서 전자는 고정된 선 위를 도는 입자라기보다 **특정 위치에 있을 확률 분포**로 다뤄집니다.

보어 모형의 핵심

- 전자 궤도는 연속적이지 않고 **n=1, n=2, n=3...** 같은 정지 궤도로 제시됨
- 각 궤도는 서로 다른 **에너지 준위**를 뜻함
- 수소 원자 선스펙트럼 설명에 큰 교육적 의미가 있음

현대 모형의 핵심

- 이 모형은 보통 **전자구름 모형** 또는 **오비탈 모형**이라 부름
- 전자의 정확한 경로 대신 **위치의 확률 분포**를 나타냄
- 보어의 n 값은 오늘날에도 **주양자수** 개념으로 이어짐

왜 수업에서는 보어 모형을 먼저 쓸까?

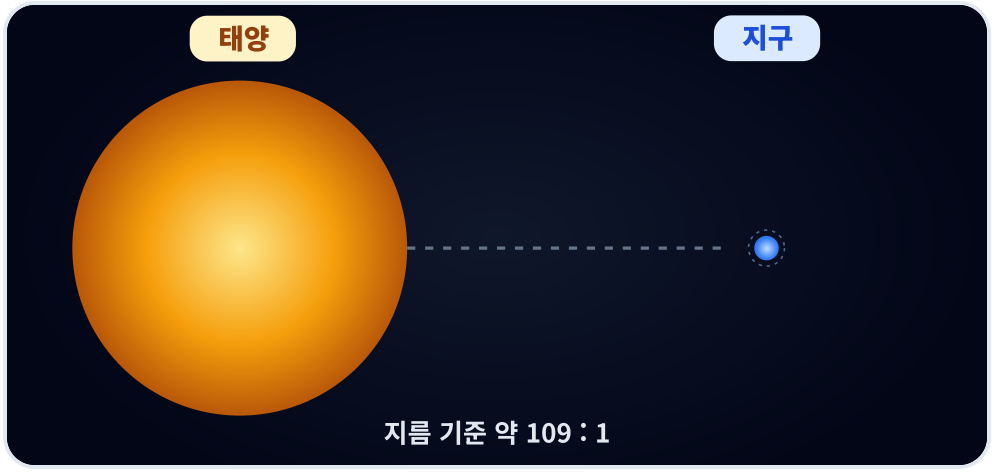
전문가 교수진은 초중등 학생들에게 양자역학적 전자구름 모형이 **인지적 과부하**를 줄 수 있다고 봅니다. 전자의 개수, 에너지 준위, 껍질 구조를 먼저 이해시키려면 보어 모형이 훨씬 직관적이기 때문입니다.

모델 사례 4: 태양계 모형

어느 교과서에도 태양계와 지구를 '동시에 정확하게' 그릴 수 없습니다.

크기(크기 비)를 맞춘다면?

A



태양과 지구의 **크기 비**를 맞추면 지구는 거의 점처럼 작아집니다. 이렇게 그리면 행성의 모습은 보이지만, 행성 간 거리는 같은 화면에 담을 수 없습니다.

거리(거리 비)를 맞춘다면?

B

반대로 태양에서 각 행성까지의 **거리 비**를 맞추면, 행성들은 눈에 잘 보이지 않는 작은 점으로 축소됩니다. 결국 한 장의 그림에서는 둘 다 동시에 만족시키기 어렵습니다.

교과서의 변명 : "전문가의 의도적 타협"

교과서의 모델은 저자들의 실수로
오류를 포함하고 있는 것이 아닙니다.

> 학습 목표인 **'순서 파악'**이나 **'구조 인식'**을 달성하기 위해,
> 부차적인 정확성(실제 거리/디테일)을 **의도적으로 포기(Trade-off)**한 것입니다.

따라서 교과서의 한계를 고발(?)하는 것이 교사의 목표가 되어서는 안 됩니다.

SECTION 3

단순화가 낳는 치명적 오개념

교과서의 '친절한 거짓말'을 아이들은 무방비로 믿습니다.

구체적 조작기 아동의 "리터럴(Literal) 해석"

발달 심리학적 한계

초등학생(피아제 인지발달이론상 구체적 조작기)은 눈에 보이는 정보를 **기호학적 비유가 아닌 '문자 그대로(Literal)' 받아들이는 경향**이 강합니다.[5)]

> "보이는 것이 곧 진실(Seeing is believing)이다."

단순화의 역습

전문가들의 '의도적 생략'을 학생들은 교과서의 '정확한 진리'로 간주합니다. 이 불일치 지점에서 교실 내 수많은 **인지적 오개념(Misconceptions)**이 파생됩니다.

5) 권재술 외 (2012). 과학교육론. 교육과학사.

오개념 사례 1: 스케일(Scale)의 오류

태양계 모형을 접한 초등학생의 생각

"우주선 타고 지구에서 화성까지 금방 가겠다. 교과서에서 손가락 세 마디 거리밖에 안 되잖아? 그리고 목성은 생각보다 별로 안 크네?"

이 오개념은 왜 발생했는가?

- 행성 간 상호 순서를 보여주기 위해 **'거대한 빈 공간(진공)'을 인위적으로 압축**시켰기 때문입니다.
- 실제 비율이었다면 종이 밖으로 태양계가 넘어가 버려 모델로서의 소통 기능이 마비되기 때문입니다.

오개념 사례 2: 선형적 종속의 오류

먹이그물 다이어그램을 접한 초등학생의 생각

"이 그림(낙엽→지렁이→두더지)에 보면 화살표가 이어져 있어요. 만약 지렁이가 사라지면 두더지도 바로 굶어 죽겠죠? 두더지는 다른 건 안 먹나요?"

이 오개념은 왜 발생했는가?

- 생태계 그물의 다차원적 구조를 초등학생 수준에서 이해하기 쉽게 **'1대1 선형 관계'로 끊어내 강조**했기 때문입니다.
- 화살표 자체가 '다양한 포식 관계 중 대표적 일면'이라는 암묵적 약속을 아이들은 알아채지 못합니다.

오개념 사례 3: 색상 및 정지 상태의 오류

세포와 지구 내부 모형을 접한 초등학생의 생각

"세포는 종이처럼 납작하네요. 그리고 선생님, 땅을 깊게 깊게 계속 파고 내려가다 보면, 정말로 노란색이나 빨간색 외핵과 맨틀의 경계선을 볼 수 있는 거죠?"

이 오개념은 왜 발생했는가?

- 시각적 구분을 돕기 위해 넣은 **인위적 '명도/채도 부여'를 실재의 색으로 해석**했기 때문입니다.
- 지면(2D 북)의 매체 한계로 역동적인 3차원을 납작하게 정지된 사진으로 동결시켰기 때문입니다.

교사의 역할: PCK(교과교육학 지식)의 발현

참된 교사의 임무는
교과서의 모형이 현실과 다르다며 교재를 비판하는 것이 아닙니다.

학생에게 **"이 모형은 무엇을 버리고 무엇을 선택했는가?"**를
명시적으로 폭로하고 안내하는 것. 이것이 **교사의 PCK 역량**입니다.

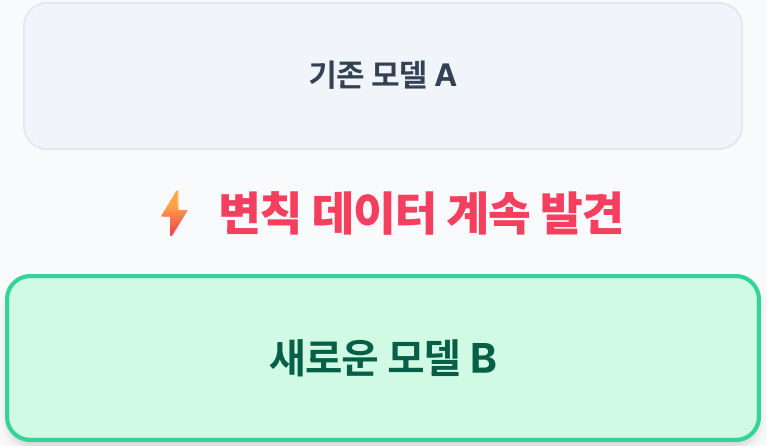
단순화의 의도 파악 | 오개념 리스크 예측 | 예방적 발문 설계

SECTION 4

과학적 모델은 진화한다

더 유용한 표상을 향한 발걸음과 과학의 잠정성(Tentativeness)

변칙 사례(Anomalies)와 모델의 폐기



모델의 유효기간

모델은 자연 현상을 설명하는 데 유용할 때까지만 생존합니다. 새로운 관찰이나 실험 데이터(변칙 사례)가 나타나 기존 모델로 설명할 수 없게 되면, 과학자들은 더 큰 설명력을 가진 새로운 모델을 제안합니다.

> 이는 앞서 배운 토머스 쿤의 **패러다임 전환**, 혹은 반증주의의 한계를 시각적으로 가장 잘 보여주는 과학자 사회의 합의 구조입니다.[6)]

6) Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. Handbook of research on science education.

역사적 사례: 원자 모형의 진화

돌턴 (딱딱한 공)
질량 보존 설명엔 유용

톰슨 (푸딩 모형)
전자 발견 대응

러더퍼드 (핵 모형)
알파 입자 산란 설명

보어 (궤도 모형)
수소 선스펙트럼 설명

현대 (전자 구름)
양자 역학적 확률 분포

과거의 학자가 무식해서 틀린 것이 아닙니다. **당시 관찰된 데이터를 해명하기에 가장 최적화된 아이디어(의도적 표상)**가 그 시대의 훌륭한 모델이었습니다.

결론: 무엇이 '더 좋은' 모델인가?

절대적 진리와 일치하는가? (X)

자연과 얼마나 사진처럼 똑같은가는 과학적 모델을 판단하는 중요한 기준이 아닙니다.

현상에 대한 '설명력'이 뛰어난가? (O)

복잡한 자연의 규칙을 군더더기 없이 깔끔하게 설명해주고, 타당한 예측치를 낼 수 있어야 합니다.

탐구자 간 '소통력'을 상승시키는가? (O)

추상적 개념을 효과적으로 시각화하여, 학계와 학생 사이에 활발한 논의를 유발해야 좋은 모델입니다.

SECTION 5

주차 과제: 모델 교사 시연

교과서의 결함을 고발하는 대신, 교사의 매개 역량을 훈련합니다.

실습 과제: 모델 속 의도 및 오개념 예측

> 여러분은 더 이상 "이 모델이 어떻게 생겼지?"를 외우는 성인이 아닙니다.
> **"이 모델로 가르칠 때, 아이들의 머릿속에 무슨 일이 벌어질까?"**를 고민하는 교사입니다.

과제 작성 양식

1. **선택한 모델:** (예: 5학년 2학기 태양계 모형) 사진 또는 설명

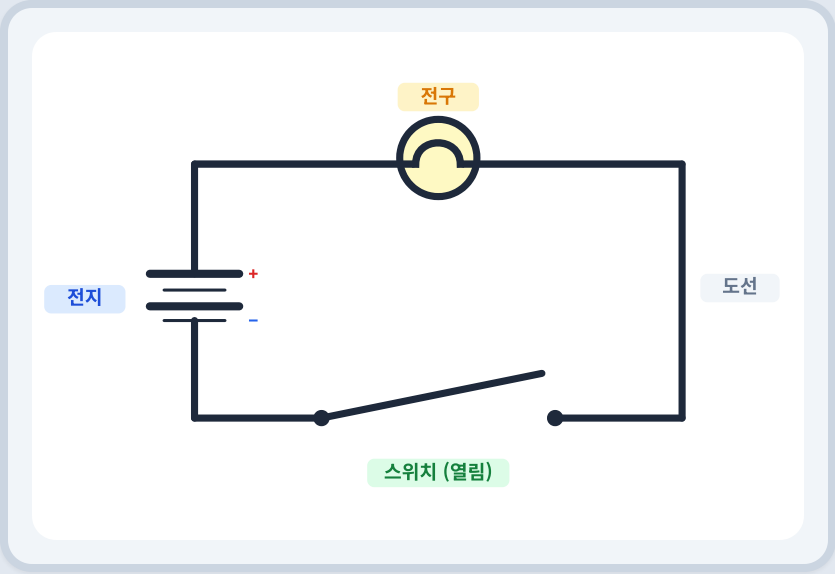
2. **의도된 단순화:** 이 모델은 무엇을 보여주기 위해, **현실의 어떤 복잡성을 과감히 생략**했는가?

3. **오개념 예측:** 그 생략 때문에, 글자 그대로 믿어버리는 어린이가 가질 수 있는 **오개념 2가지**

평가 기준 (루브릭 Checklist)

평가 항목	세부 기준
의도 이해 (NOS적 관점)	"교과서가 틀렸다"고 비난하지 않고, **교육적 목적을 위한 필연적/의도적 생략임**을 이해하고 서술했는가?
오개념의 타당성	해당 학년 초등학생들의 인지발달 수준(구체적 조작기, 리터럴 해석 등)을 고려할 때 **실제로 교실에서 등장할 법한 생생한 오개념**인가?
논리적 연계	작성자가 파악한 '생략된 사실(2번 항목)'과 아이들이 겪을 '오류(3번 항목)'가 인과적으로 잘 매칭되는가?

예시 분석: 전기 회로도 모형



*도선, 전지, 전구, 스위치를 기호로 단순화한 교과서식 회로도입니다.

의도된 단순화 (생략한 무언가)

목적: 전류가 흐르는 **닫힌 회로의 구조**를 빠르게 읽게 하려는 것입니다.
생략: 도선 내부 전자의 집단 운동, 도선의 실제 굵기와 재질, 전구 내부 필라멘트의 미세 구조 같은 복잡성은 지우고 **기호와 선만** 남겼습니다.

예측되는 초등 오개념 (2가지)

- 오개념 1: "선이 끊어지면 전기가 회로 밖으로 물처럼 흘러나온다."
  선 자체를 파이프처럼 보고, 전기를 그 안에 담긴 물질로 해석할 수 있습니다.
- 오개념 2: "전지 기호의 긴 줄 쪽에서 전기가 만들어져 나와 전구로 간다."
  기호의 모양을 실제 내부 구조로 오해해, 전기가 한 지점에서만 생성된다고 받아들일 수 있습니다.

*이처럼 교재 연구 시, 다이어그램을 의심의 눈초리로 분해해 보는 훈련입니다.

피드백 전략 가이드

담벼락에 동료들이 작성한 과제를 보고 **댓글로 상호 코멘트**를 달아주세요. 좋은 피드백은 모델의 본성을 다시 일깨워주는 질문입니다.

👍

좋은 피드백 예시

"선생님이 짚어준 그 오개념을 예방하려면, 수업 때 추가로 실물 모형이나 시뮬레이션을 보완해서 보여주면 더 좋겠어요!"

👎

아쉬운 피드백 예시

"네, 교과서 그림이 저렇게 대충 그려진 건 문제네요. 교과서 집필진이 그림을 좀 더 사실적으로 정밀하게 그렸어야 했어요." (NOS 이해 부족)

오늘의 핵심 정리

1. 과학적 모델은 대상의 미니어처가 아니라, 목적에 도달하기 위해 과감하게 덜어낸 **'의도된 단순화 렌즈'**다.

2. 우수한 모델이란 '얼마나 실물과 똑같은가'가 아니라, 현상을 **얼마나 잘 설명하고 예측하게 해주는가**에 달려있다.

3. 과학 교사의 핵심 역량(PCK)은 교과서 모델의 맹점을 고쳐 그리는 것이 아니라, 그 단순성 속에 숨은 **오개념 발생 가능성을 미리 파악하고 안내**하는 것이다.

수업 내 과제 제출함 모델 분석 활동

개인 활동

진행 순서 가이드

1. 과제 제출함에 제공된 모델 예시 5개 중 하나를 개인별로 선택합니다.
2. 선택한 모델에 대해 **[설계 의도 파악]**과 **[오개념 예측 2가지]**를 작성합니다.
3. 13주차 과제 제출함에 개인 분석 글을 게시합니다.
4. 다른 친구들이 올린 글들을 읽고, 가장 통찰력이 빛나는 게시물에 하트와 피드백 댓글을 답니다.

접속 링크 안내

아래 버튼을 눌러 13주차 과제 제출함으로 이동하세요.

13주차 제출함 열기

Nature of Science

"어떤 모델도 자연의 무한한 변수를 다 담을 수 없다."

Q & A 및 질의 응답

참고문헌 (REFERENCES)

권재술, 김범기, 강남화 외 (2012). **과학교육론**. 교육과학사.

National Research Council. (2012). **A Framework for K-12 Science Education**. Washington, DC: The National Academies Press.

Box, G. E. P. (1976). Science and statistics. **Journal of the American Statistical Association**, 71(356), 791-799.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, 22(9), 1011-1026.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling. **International Journal of Science Education**, 24(4), 369-387.

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), **Handbook of research on science education**. Routledge.