

2026-1 SEMESTER · WEEK 6

과학혁명의 구조

The Structure of Scientific Revolutions

토머스 쿤의 패러다임 이론과
초등학생 오개념의 인지적 개념 변화 모형(CCM)

1. 지난주 복습: 관찰의 이론 의존성

N.R. 헨슨의 선언

우리는 감각 데이터를 있는 그대로 백지 상태에서 받아들이는 것이 아닙니다. 모든 관찰은 관찰자의 **배경지식**, **편견**, 그리고 **이론**이라는 안경을 통해 해석됩니다.¹⁾

객관주의의 붕괴

포퍼는 '관찰 데이터'로 이론을 심판하려 했지만, 그 관찰 데이터 자체가 이미 주관적 이론에 물들어 있다면 절대적이고 객관적인 과학적 기준은 흔들리게 됩니다.



"순수한 관찰의 신화는 무너졌다."

1) 헨슨, N. R. (2007). *과학적 발견의 패턴* (송진웅 역). 티움. (원저출판 1958)

과학은 지식의 단순한 축적인가?

전통적 과학관: 누적적 진보관

과거의 과학자들은 벽돌을 한 장씩 쌓아 올려 거대한 집을 짓듯이,
관찰과 실험 데이터가 오랜 세월 축적(Accumulation)되면서
과학이 진리를 향해 점진적으로 진보해 나간다고 믿었습니다.



하지만 과학의 역사를 되돌아보면, 지식은 결코 평화롭게 쌓이지 않았습니다.

이번 주 학습 목표



패러다임 전환 이해

토머스 쿤이 제시한 정상과학, 변칙사례, 과학 혁명의 순환적 발달 구조와 패러다임의 개념을 철학적으로 분석한다.



오개념과 미니 패러다임

학생들이 가진 비과학적 오개념이 단순한 오류가 아니라, 그들 나름의 견고한 '미니 패러다임'임을 인지과학적으로 파악한다.



개념 변화 모형 (CCM)

포스너(Posner)의 개념 변화 4가지 조건을 이해하고, 학생의 인지적 갈등을 유발하여 패러다임 전환을 돕는 발문을 설계한다.

2. 토머스 쿤 (Thomas S. Kuhn, 1922-1996)



"과학은 혁명적으로 발전한다."

"과학의 역사는 과거의 무지에서 현재의 지식으로 차곡차곡 발전해 온 궤적이 아니다. 그것은 낡은 세계관이 붕괴되고 완전히 새로운 세계관이 들어서지는 불연속적인 혁명(Revolution)의 연속이다."¹⁾

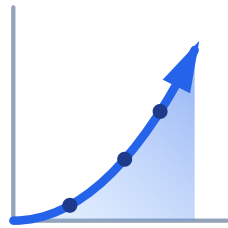
물리학 박사 출신의 과학사학자였던 쿤은, 실제 과학의 역사가 철학자들의 매끄러운 논리 (포퍼의 반증주의 등)대로 흘러가지 않았음을 폭로했습니다.

1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

과학의 진보관 대조

누적적 진보관 (전통적)

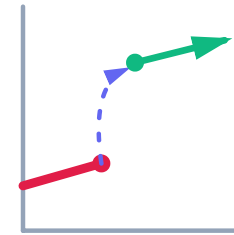


지식이 마치 벽돌을 쌓듯 오류 없이 계속 더해지며 완벽한 진리에 점진적으로 다가간다는 관점.

예시

케플러의 행성 법칙 → 갈릴레이의 낙하 법칙 → 뉴턴이 둘을 만유인력으로 통합 → 이후 전기·자기력·핵력 순차 추가. 마치 목록에 하나씩 항목이 더해지듯 과학이 발전한다고 봄.

단절적 혁명관 (쿤)



안정적인 시기가 이어지다, 기존 틀로 해결 불가능한 문제가 쌓이면 단절적인 도약과 파괴(혁명)가 발생한다는 관점.

예시 (쿤의 사례들)

천동설 → 지동설: 새 사실 추가가 아닌 '우주의 중심' 자체가 교체됨.

플로지스톤설 → 산소 이론: 연소 현상의 설명 체계 전체가 뒤집혀 재구성됨.

뉴턴 역학 → 상대성이론: '절대 시간·공간'이라는 전제 자체가 붕괴됨.

3. 패러다임 (Paradigm)이란?

Paradigm 의 정의

"어느 일정한 시대의 과학자 공동체(Scientific community) 구성원들이 공유하고 있는 신념, 가치, 기술, 모형, 그리고 세계관의 총체"¹⁾

- 단순한 이론이나 공식을 넘어, 무엇이 '문제'이고 무엇이 '정답'인지 결정하는 **안경(렌즈)**.
- 패러다임 밖에서 세상을 바라보는 것은 불가능함.

1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

게슈탈트 전환 (Gestalt Shift)



패러다임의 변화 = 시각의 변화

쿤은 패러다임이 교체되는 혁명의 순간을 '게슈탈트 전환(형태주의적 인식의 전환)'에 비유했습니다.¹⁾

오리-토끼 그림을 다시 떠올려 봅시다.

오리만 보던 사람은 토끼를 전혀 볼 수 없습니다.

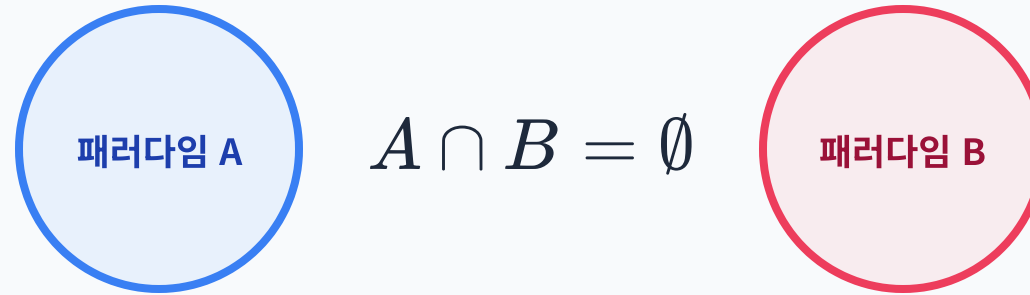
어느 순간 시각이 번뜩이며 토끼로 '형태가 전환'될 뿐, 오리와 토끼를 동시에 볼 수는 없습니다. 패러다임의 변화 역시 이와 같이 단절적이고 폭발적입니다.

1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

4. 공약 불가능성 (Incommensurability)

"서로 다른 패러다임은 대화가 통하지 않는다."



공통의 척도(공통 분모)가 없다는 뜻입니다. 혁명 이전과 이후의 과학자들은 동일한 단어를 사용하더라도 완전히 다른 세계관에 살고 있으므로, 어느 쪽이 더 객관적으로 옳은지 중립적인 데이터로 심판할 수 없습니다.¹⁾

예시 1 - 질량

뉴턴: 질량은 시간·속도와 무관한 절대적 양.

아인슈타인: 질량은 속도에 따라 변하는 상대적 양.

같은 단어 "질량"이지만 완전히 다른 개념 — 어느 척도로도 직접 비교 불가.

예시 2 - 연소

플로지스톤설: 연소 = 물체 속 플로지스톤이 빠져나감.

라부아지에: 연소 = 산소와 결합.

두 이론은 '연소'를 완전히 다른 과정으로 정의하여 공통 기준이 없음.

예시 3 - 지구의 위치

천동설: 지구 = 우주의 중심, 정지.

지동설: 지구 = 태양 주위를 도는 행성.

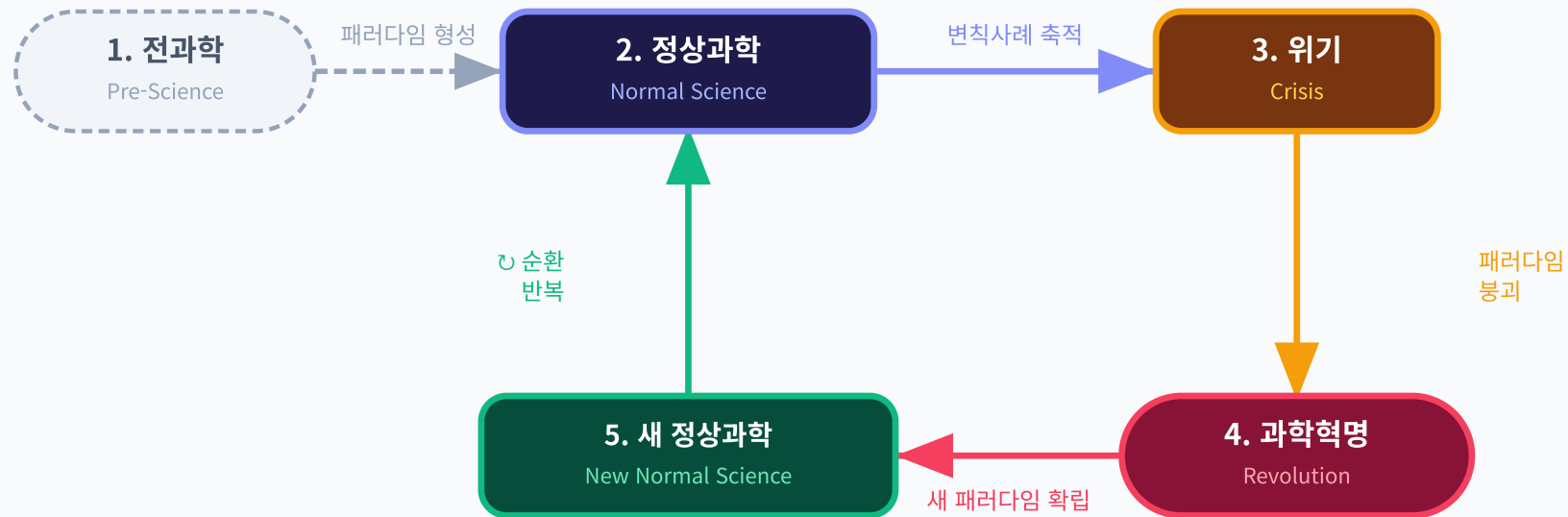
'행성'이라는 개념 자체가 재정의됨 — 천동설 언어로 지동설을 설명할 수 없음.

1) 파이어아벤트, P. (1975). *방법에 반대하다* (정병훈 역). 그린비.

Feyerabend, P. (1975). *Against method*. New Left Books. Verso.

5. 과학혁명의 순환 구조 (Kuhn's Cycle)

과학은 다음과 같은 5단계의 폐쇄적 순환 고리를 통해 발전합니다.



단계 1: 전과학 (Pre-Science)



합의된 패러다임이 없는 혼돈 상태

어떤 현상에 대해 지배적인 이론이 존재하지 않아, 여러 학파가 난립하며 각자의 기초적인 주장만 반복하는 단계입니다.

- 사실 수집이 무작위적이고 체계가 없습니다.
- 학자들 간에 기초적인 용어 정의부터 매번 새로 해야 합니다.
- 예: 뉴턴 이전의 광학(빛의 본성에 대해 수십 개의 학파 존재), 초기 심리학 등.

단계 2: 정상과학 (Normal Science)

Kuhn's Key Concept

패러다임의 지배와 퍼즐 풀기

하나의 강력한 학파가 승리하여 최초의 패러다임이 확립된 상태입니다. 대다수 과학자들의 일상적인 연구 기간이 바로 이 시기입니다.¹⁾

정상과학 시기 과학자의 임무:

패러다임 자체를 의심하거나 깨뜨리려 하지 않습니다. 패러다임이 제시한 규칙 안에서, 풀리지 않은 세부적인 문제들을 채워 나갑니다.

단계 2: 정상과학 (Normal Science)

하나의 강력한 패러다임이 세상을 설명하고, 과학자들은 '퍼즐 풀기'처럼 정밀한 측정과 세부 이론을 다듬는다.



1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

포퍼(Popper) vs 쿤(Kuhn)의 시각차

포퍼의 가설 (이론 시험)

"과학자는 이론을 시험한다"

실험이 실패하면 이론(패러다임)이 틀린 것이므로 이론을 폐기해야 한다.

쿤의 주장

쿤의 퍼즐 풀기 (과학자 시험)

"실험 실패는 과학자의 무능력 탓"

퍼즐이 안 풀린다고 퍼즐판(이론)이 잘못되었다고 생각하지 않는다. 퍼즐을 못 맞춘 자신의 실력을 탓하며 다시 시도한다.

단계 3: 위기 (Crisis)와 변칙 사례



변칙 사례 (Anomaly)의 누적

정상과학의 규칙(퍼즐판)으로는 도저히 풀리지 않는 문제들이 등장합니다. 초기에는 이를 측정 오차나 실험 도구의 한계로 치부하며 무시합니다.¹⁾

임시변통적 가설(Ad hoc)의 등장

지난 4주차에 배운 내용입니다. 변칙 사례가 너무 많아지면, 과학자들은 기존 패러다임을 지키기 위해 누더기처럼 임시변통적 가설을 덕지덕지 붙이기 시작합니다. 이로 인해 패러다임은 극도로 복잡해지고 위기 (Crisis)가 도래합니다.

1) 쿤, T. S. (2002). 과학혁명의 구조 (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

단계 4: 과학혁명 (Scientific Revolution)



새로운 패러다임으로의 "개종(Conversion)"

기존 패러다임이 붕괴하고, 발견된 변칙 사례들을 해결해 줄 **전혀 새로운 패러다임**이 등장하여 지배 세력과 크게 충돌합니다.¹⁾

가치 기반의 주관적 선택

초기 혁명 단계에서는 새 패러다임을 입증할 객관적 데이터가 아직 부족할 수 있습니다. 그럼에도 학자들은 이론의 단순성, 우아함(심미성), 미래의 문제 해결 잠재력 등을 종합적으로 평가하여, 기계적 논리를 뛰어넘는 인식의 전환(개종)을 결단합니다.

1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.

단계 5: 새로운 정상과학 (New Normal Science)

단계 5: 새로운 정상과학 (New Normal Science)

지동설 패러다임이 확립되고, 다시 과학자들은 정밀한 측정과 세부 이론을 다듬는 '퍼즐 풀기'에 몰두한다.



새로운 지배 패러다임의 승리

치열한 논쟁 끝에 새로운 패러다임이 과학자 사회를 장악하여 승리를 거두면, 기존의 낡은 패러다임은 역사 속으로 자취를 감춥니다.

다시 시작되는 일상과 순환

교과서가 새로운 패러다임에 맞춰 전부 다시 쓰입니다. 과학자들은 뜨거웠던 혁명을 멈추고 새 패러다임 안에서 또 다른 '퍼즐 풀기(새로운 정상과학)'에 착수합니다. 이로써 쿤의 순환 고리가 반복됩니다.

사례 연구 1: 천문학의 패러다임 전환

천동설 (프톨레마이오스)

1,500년 넘게 서양을 지배한 완고한 패러다임.

변칙 사례 (위기):

화성이 가끔 뒤로 가는 현상(역행) 등 관측 데이터 불일치.

임시변통적 대처:

'주전원(Epicycle)'이라는 작은 원을 계속해서 덧그려 누더기 이론이 됨.

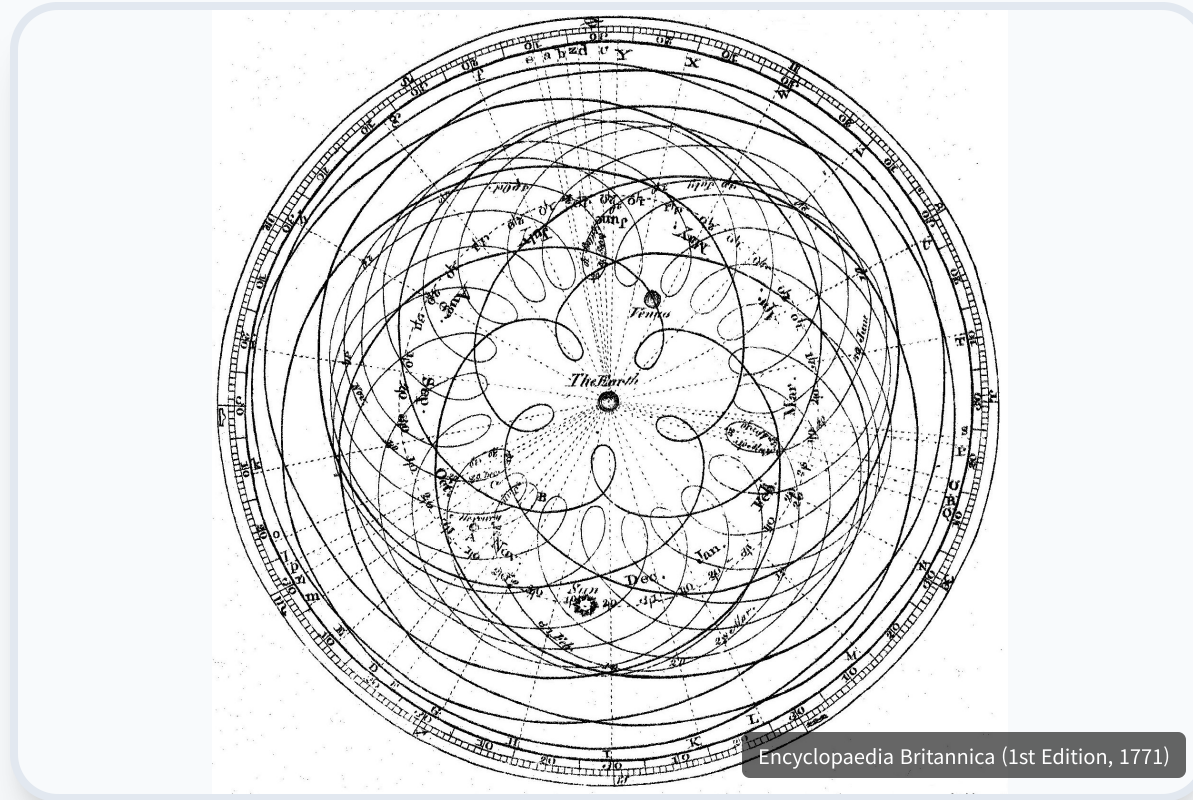
지동설 (코페르니쿠스)

태양을 중심에 둔 새로운 패러다임의 탄생(과학혁명).

혁명의 완수:

주전원을 그릴 필요 없이 화성의 역행이 지구와의 공전 속도 차이로 매우 **단순하고 우아하게 설명됨**. 갈릴레이, 케플러를 거쳐 완전히 '새로운 정상과학'으로 자리잡음.

주전원(Epicycle)의 덧칠: 위기의 징후



관찰 데이터(변칙)를 억지로 맞추기 위해 원 위에 원을 계속 그려넣는 행위.
이것이 쿤이 말한 "**패러다임의 위기(Crisis)**" 상태입니다.

6. 쿤의 철학이 주는 시사점



과학 교과서가 감추고 있는 것

오늘날의 과학 교과서는 대개 "현재 패러다임의 관점에서 다시 정리된 역사"입니다.¹⁾

그 과정에서 과거 패러다임이 지녔던 나름의 설득력과 혁명기의 혼란은 잘 보이지 않게 되고, 마치 지금의 지식이 처음부터 논리적으로 차근차근 쌓여 온 것처럼 **누적적 발전 서사로 재구성**되어 제시됩니다.

👉 **결과 위주의 교육이 과학의 '본성(NOS)'을 왜곡하는 주범입니다.**

1) 쿤, T. S. (2002). *과학혁명의 구조* (김명자 역). 까치. (원저출판 1962)

Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.



패러다임 이론의 과학교육적 적용

학생의 뇌 속에서도 작은 과학혁명이 일어납니다.

7. 오개념 = 미니 패러다임

아이들은 꼬마 과학자다

학생들이 일상에서 형성한 오개념(Misconception)은 단순한 '실수'나 무지가 아닙니다.

그것은 학생 나름대로 세상을 일관되게 설명해 온 **하나의 견고한 '미니 패러다임'**입니다.¹⁾

오개념의 예시:

- "무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 떨어진다."
- "여름이 더운 이유는 지구가 태양에 가까워지기 때문이다."



오개념은 왜 고치기 어려울까?

정상과학자의 과학자



자신의 패러다임을 지키기 위해 변칙 사례가 나타나도 무시하거나 임시변통적 핑계를 댐.

=

오개념을 가진 초등학생



자신의 미니 패러다임을 지키기 위해 실험 결과가 다르게 나오면 "바람이 불어서요", "관찰을 잘못했어요"라고 핑계를 댐.

결론: 강의식 주입으로는 아이들의 패러다임을 혁명적으로 전복시킬 수 없다.

8. 포스너의 개념 변화 모형 (CCM)

어떻게 개념 변화(미니 과학혁명)를 유도할 것인가?

과학교육학자 포스너(G. Posner) 등은 쿤의 철학을 교육학에 접목하여, 학생들의 오개념이 과학적 개념으로 바뀌기 위한 4가지 필수 조건을 제시했습니다.¹⁾

1. 불만족 (Dissatisfaction)

2. 이해 가능성 (Intelligibility)

3. 타당성 (Plausibility)

4. 유용성 (Fruitfulness)

1) Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

조건 1: 불만족 (Dissatisfaction)

"내 생각이 무너졌다!" (인지적 갈등)

예시: 무게와 낙하 속도 오개념

학생의 미니 패러다임: "무거운 볼링공이 가벼운 깃털이나 찰흙공보다 훨씬 빨리 떨어질 거야!"

결정적 실험(위기): 교사가 동시에 두 공을 떨어뜨렸는데 '쿵!' 하고 동시에 바닥에 닿습니다. 기존 자신의 생각으로는 도저히 설명할 수 없는 변칙 사례 앞에서 학생은 깊은 불만족과 혼란을 느낍니다.



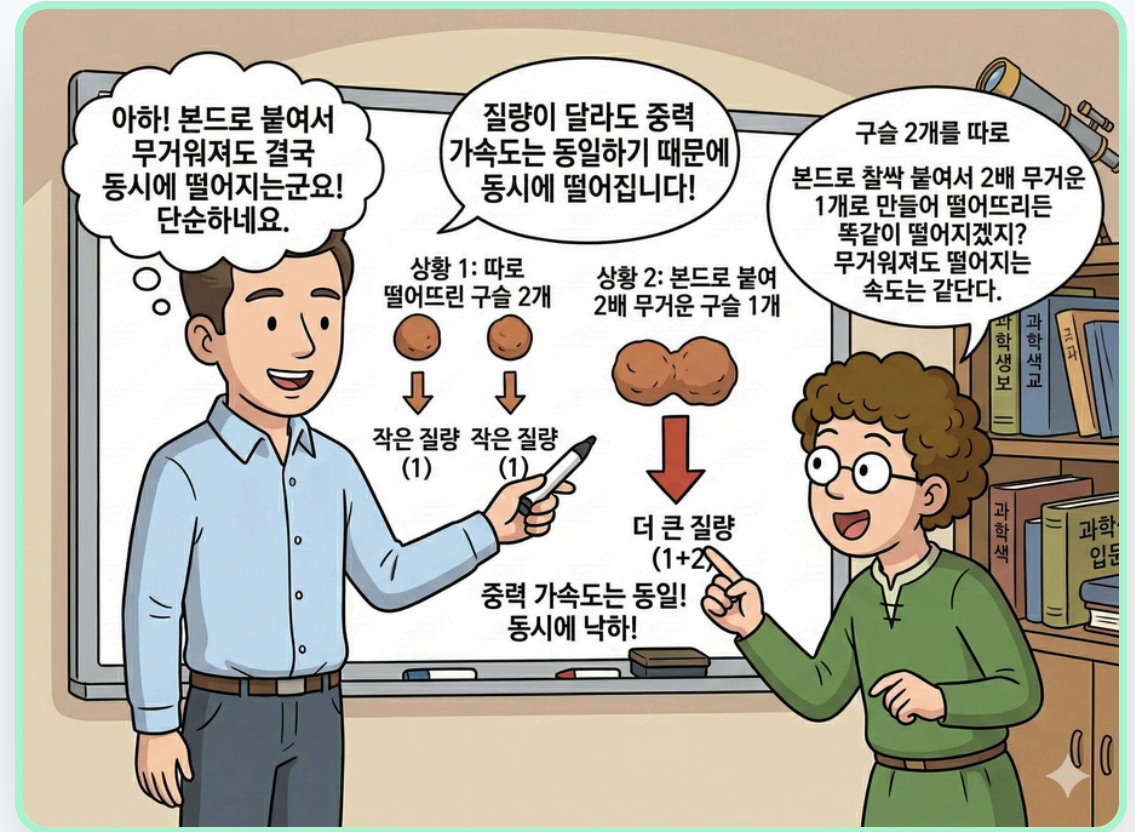
조건 2: 이해 가능성 (Intelligibility)

"무슨 말인지 직관적으로 와닿아요!"

학생의 눈높이에 맞는 새로운 개념 제시

기존 생각을 포기할 마음(불만족)이 생겼을 때, 새로운 과학적 개념이 제시되어야 합니다. 단, 너무 어려운 수식이 아니라 **비유나 알아듣기 쉬운 모형**이어야 합니다.

교사의 쉬운 설명: "구슬 2개를 따로 떨어뜨리든, 본드로 찰싹 붙여서 2배 무거운 1개로 만들어 떨어뜨리든 똑같이 떨어지겠지? 무거워져도 떨어지는 속도는 같단다."



조건 3: 타당성 (Plausibility)

"아하! 그래서 아까 그렇게 된 거구나!"

변칙 사례의 완벽한 논리적 해결

새로 배운 개념이 방금 전 자신이 겪었던 인지적 갈등(작은 공과 큰 공이 동시에 떨어진 변칙 사례)을 **모순 없이 완벽하게 설명**해 주어야 합니다. 새 개념이 과거의 퍼즐을 성공적으로 맞춰주면서, 학생은 새 이론의 타당성을 진심으로 납득합니다.



조건 4: 유용성 (Fruitfulness)

"그럼 다른 곳에서도 쓸 수 있겠네!"

새로운 퍼즐 풀이로의 확장 (새로운 정상과학 시작)

개념을 완전히 받아들였다면, 이제 그 개념으로 새로운 문제에 응용하고 예측할 수 있어야 합니다.

응용 문제: "그럼 공기가 없는 우주 공간(달)에서, 무거운 쇠파망치와 아주 가벼운 깃털을 떨어뜨리면?"

학생의 정답: "공기 저항이 없다면 무게와 상관없으니까 둘이 동시에 떨어져야 해요!"



9. 1부 이론 요약

토머스 쿤과 패러다임

과학은 누적되는 것이 아니라, **정상과학** → **위기(변칙)**
→ **과학혁명**의 단절적 과정을 거쳐 패러다임이 전복되며 발전한다.

초등학생의 미니 패러다임

학생들의 오개념은 단순히 틀린 지식이 아니라 견고한 패러다임이므로, 일방적 주입으로는 고칠 수 없다.

포스너의 개념 변화 (인지적 갈등)

오개념 교정(미니 혁명)을 위해서는 **결정적 실험을 통한 인지적 불만족 유발**이 가장 선행되어야 하며, 이후 새 개념이 타당하게 제시되어야 한다.



Break Time (10 Min)

10분 휴식 후, 2부 실습(CCM 4조건 기반 오개념 교정 만화 제작)을 진행합니다.



오개념 → 개념 변화를 만화로!

주제 하나를 골라, CCM의 4가지 요소가 모두 들어간 만화를 만드세요.

컷 수는 자유 (2컷, 4컷, 6컷 등)입니다.

불만족·이해가능성·타당성·유용성이 어떻게 표현됐는지 **한 문장씩** 설명도 함께 제출합니다.

 30분 조별 제작 + 10분 발표

주제 선택 (초등 수준)

아래 4개 중 1개를 선택해 만화를 제작하세요.



주제 A: 낙하 (무게와 속도)

"무거운 공이 더 빨리 떨어진다" → "무게와 관계없이 동시에 떨어진다"



주제 B: 식물의 영양분

"식물은 흙에서 양분을 얻는다" → "햇빛으로 스스로 양분을 만든다"



주제 C: 달빛의 정체

"달은 스스로 빛을 낸다" → "달은 태양 빛을 반사할 뿐이다"

주제 D (자유 선택): 초등 과학에서 학생이 흔히 갖는 오개념을 1개 골라 CCM 4요소가 드러나도록 만화 구성

담벼락 업로드 시 아래 항목을 입력하세요

1 조 이름 + 조원

예) 1조 - 홍길동, 이순신, 강감찬

2 작품 제목

만화의 제목을 한 줄로

3 이미지 업로드

1장 이미지 또는 컷별 여러 장 - 자유롭게

CCM 4요소 각 1문장

불만족 기존 개념이 실패하거나 부족해 보이는 장면

이해가능성 새 개념이 어떻게 이해될 수 있는지

타당성 새 개념이 왜 더 타당한지

유용성 새 개념으로 다른 것도 설명할 수 있는 장면



과제 제출 및 코워킹 피드백

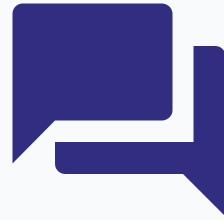
[수업 중 제출]

완성된 **만화 이미지 + CCM 4요소 설명**을
조 이름·조원·작품 제목과 함께 과제 담벼락에 업로드해 주세요.

 과제 담벼락 들어가기

교수자 피드백

Week 3 방식처럼 무작위 1~2개 조를 선정해 화면 공유 후, CCM 4조건이 실제로 드러나는지 즉석 코멘트합니다.



Q & A



패러다임 전환과 개념 변화 모형(CCM)에 대해 질문 있으신가요?

NEXT WEEK

연구 프로그램 (Research Program)

라카토스(Imre Lakatos)의 견고한 핵과 보호대 이론을 통해,
과학이 점진적 진보와 혁명적 단절 사이에서
어떻게 합리성을 유지하는지를 배웁니다.

📖 다음 주 실습: 디지털 교과서(가상실험)의 완벽함이 주는 문제점 비판

Thank You

END OF WEEK 6