

2026-1 SEMESTER · WEEK 7

# 연구 프로그램

Scientific Research Programmes

---

라카토스의 견고한 핵과 보호대 이론, 그리고  
디지털 교과서 가상실험의 '완벽함'이 주는 과학적 오개념 비판

# 1. 지난주 복습: 토머스 쿤의 과학혁명

## 패러다임 전환의 5단계

- 1 전(前)패러다임기 — 학파 난립
- 2 정상과학 — 퍼즐 풀기
- 3 위기 — 변칙 사례 누적
- 4 과학혁명 — 새 패러다임 등장
- 5 새로운 정상과학 — 순환 반복



"과학은 누적적으로 진보하지 않는다.  
혁명적으로 전환된다."

— 토머스 쿤 (1962)

# 지난주 복습: 오개념과 개념 변화 모형(CCM)

## 학생의 오개념 = 미니 패러다임

학생들의 오개념은 단순한 실수가 아니라, 나름대로 세상을 설명하는 **견고한 미니 패러다임**이었습니다. 포스너(Posner)의 CCM 4조건을 통해 이를 전복시키는 방법을 배웠습니다.<sup>1)</sup>

불만족

이해가능성

타당성

유용성



쿤의 패러다임 전환 모형을  
교실 수준에 적용한 것이  
바로 CCM이었습니다.

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.

# 쿤 이론의 한계: 과학은 비합리적인가?

## ① 비합리적 전환

쿤에 따르면 패러다임 전환은 논리적 증거만으로 일어나지 않는 '개종(conversion)'과 같다.<sup>1)</sup> 그렇다면 과학은 결국 **군중 심리와 사회적 압력**에 좌우되는 것인가?

## ② 공약불가능성

서로 다른 패러다임은 세계를 아예 다른 방식으로 보기 때문에 직접 비교가 불가능하다. 그렇다면 "**뉴턴보다 아인슈타인이 더 나은 이론**"이라는 말은 어떤 의미인가?

## ③ 상대주의의 위험

모든 패러다임이 자기 내부 기준으로만 평가된다면, **과학과 사이비 과학을 구분할 객관적 기준**이 사라진다. 과학의 특별한 권위는 어디서 오는가?

극단적  
귀결

### 파이어아벤트(Paul Feyerabend)의 인식론적 부정부주의

쿤의 동료 과학철학자인 파이어아벤트는 이 상대주의를 극한까지 밀어붙였다. "**과학사를 보면 어떤 방법론적 규칙도 항상 어겨진다. 따라서 유일하게 살아남을 원칙은 '무엇이든 좋다(Anything Goes)'이다.**" — 이 입장은 과학 철학 자체의 존재 이유를 위협한다.<sup>2)</sup>

라카토스·파이어아벤트는  
**쿤과 동시대인**으로  
각기 다른 방향으로  
응답했습니다

쿤의 상대주의를 극복하면서도 실제 과학사를 설명할 **제3의 길**을 찾은 사람이 바로 **임레 라카토스(Imre Lakatos)**입니다.

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

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

# 이번 주 학습 목표



## 연구 프로그램 이해

라카토스의 견고한 핵, 보호대, 발견법 개념을 이해하고, 전진적·퇴행적 연구 프로그램을 구분한다.



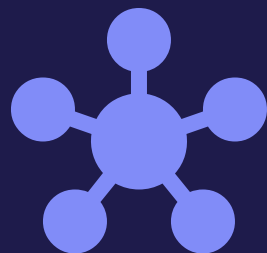
## 가상실험 비판적 분석

디지털 교과서 가상실험의 '완벽함'이 과학의 본성(NOS)을 어떻게 왜곡하는지 비판적으로 분석한다.



## 비판문 작성 역량

라카토스의 관점을 활용하여 디지털 교과서 가상실험에 대한 비판문을 작성한다.

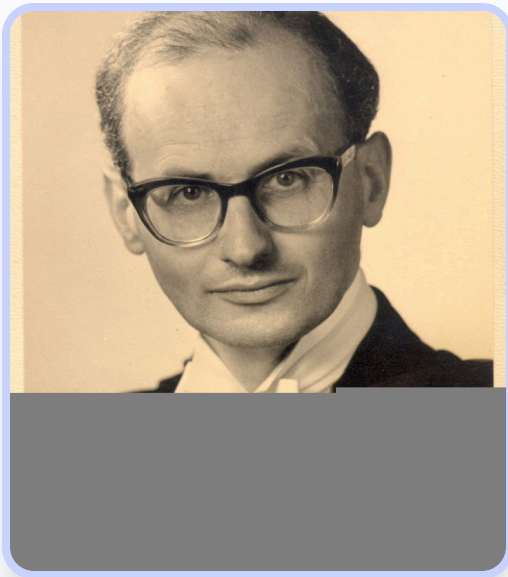


# 라카토스의 연구 프로그램 방법론

---

포퍼와 쿤 사이의 '제3의 길'

## 2. 임레 라카토스 (Imre Lakatos, 1922–1974)



Wikimedia Commons (Fair use)

### 포퍼의 제자, 쿤의 비판자

헝가리 출신의 영국 과학철학자. 런던 정경대학(LSE)에서 포퍼의 제자로 활동하며, 포퍼의 반증주의와 쿤의 패러다임 이론을 **비판적으로 종합**하여 '과학적 연구 프로그램의 방법론(MSRP; Methodology of Scientific Research Programmes)'을 제시했습니다.<sup>1)</sup>

핵심 질문:

**"과학은 어떻게 합리적으로 발전하는가?"**

포퍼처럼 개별 이론의 반증이 아니라, 쿤처럼 비합리적 개종도 아닌, **제3의 길**을 모색합니다.

1) Musgrave, A., & Pigden, C. (2021). Imre Lakatos. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/lakatos/>

# 포퍼의 '순진한 반증주의'는 무엇이 문제인가?

## ✘ 포퍼의 이상

하나의 반례(반증 사례)가 나타나면, 과학자는 즉시 그 이론을 **폐기**해야 한다.

## ☞ 과학사의 현실

실제 과학사에서 단 하나의 반례로 이론이 즉시 폐기된 적은 **거의 없습니다**.  
뉴턴 역학도 수많은 변칙 사례를 안고 200년 이상 살아남았습니다.<sup>1)</sup>



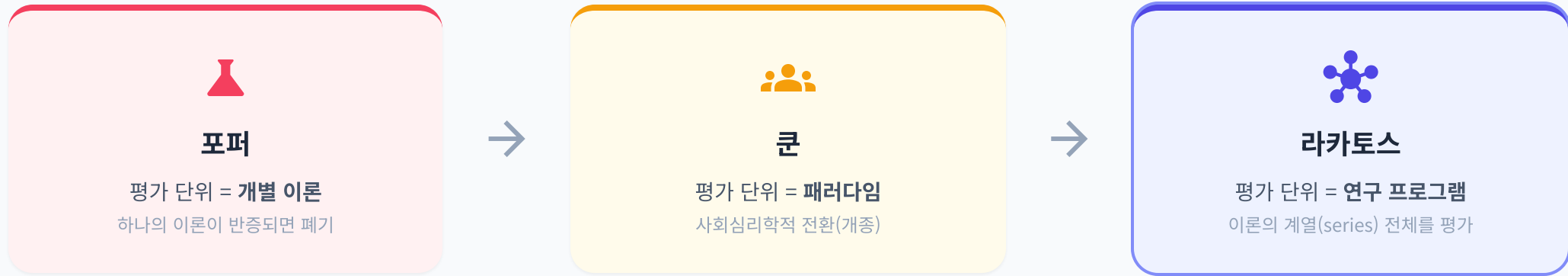
## 라카토스의 진단

"포퍼의 반증주의를 과학사에 적용하면, 역사상 가장 위대한 과학적 성취  
마저 '**비과학적**'으로 판정된다."<sup>2)</sup>

1) Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-196). Cambridge University Press.

2) Musgrave, A., & Pigden, C. (2021). Imre Lakatos. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*.

### 3. 과학의 기본 단위: 연구 프로그램



라카토스에게 과학의 기본 단위는 개별 이론이 아니라, 공통의 핵심 가정을 공유하는 **이론들의 계열(series of theories)**, 즉 **연구 프로그램(Research Programme)**입니다.<sup>1)</sup>

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1). Cambridge University Press.

# 이론 · 패러다임 · 연구 프로그램, 어떻게 다른가?

가장 작은 단위

## 이론 (Theory)

특정 현상을 설명·예측하는 단일 명제 또는 모형. 포퍼의 평가 단위.

예) 뉴턴의 만유인력 법칙  $F = Gm/r^2$

라카토스의 단위

## 연구 프로그램

(Research Programme)

같은 견고한 핵(Hard Core)을 공유하는 이론들의 계열 + 방법론적 규칙(발견법).

예) 뉴턴 역학 연구 프로그램  
= 운동 법칙들 + 만유인력 + 다양한 보조 이론들의 계열

쿤의 단위

## 패러다임 (Paradigm)

과학 공동체가 공유하는 세계관 전체. 이론 + 방법 + 가치관 + 형이상학적 가정 + 사회적 관습.

예) 뉴턴 역학 패러다임  
= 기계론적 자연관 + 절대시간·공간 + 수학적 전통 + 공동체 규범...

포함 관계

패러다임

연구 프로그램

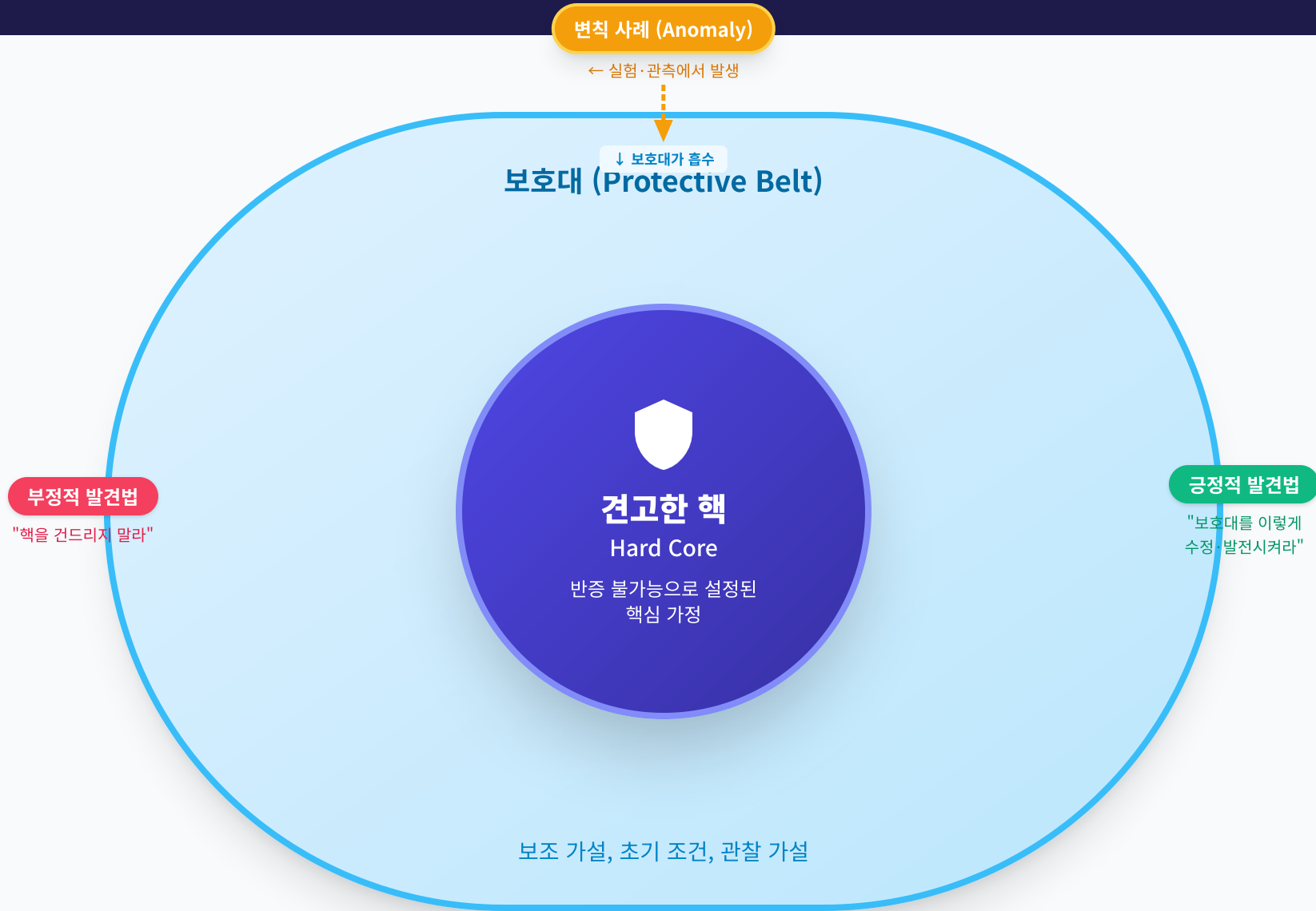
이론

이론

이론...

비교 기준	연구 프로그램 (라카토스)	패러다임 (쿤)
분석 초점	방법론적 구조 (견고한 핵·보호대·발견법)	사회·심리적 세계관 (공동체 신념·예제·가치)
전환 설명	전진적/퇴행적 비교 → 합리적	개종(conversion) → 비합리적
경쟁·공존	복수 프로그램이 동시에 경쟁 가능	정상과학 = 하나의 패러다임 지배
시간 범위	이론들의 역사적 계열	공동체 전체의 시대적 세계관

# 연구 프로그램의 구조



## 4. 견고한 핵 (Hard Core)

### "절대 포기할 수 없는 핵심 가정"

연구 프로그램의 견고한 핵은 프로그램에 참여하는 과학자들이 "관례에 의해 반증 불가능 (irrefutable by fiat)"으로 설정한 핵심 가정입니다. 어떤 변칙 사례가 나타나더라도 핵을 직접 수정하거나 폐기하지 않습니다.<sup>1)</sup>

#### 사례: 뉴턴 역학의 견고한 핵

- ✓ 뉴턴의 세 가지 운동 법칙
- ✓ 만유인력의 법칙



1) Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 132–138). Cambridge University Press.

# 5. 보호대 (Protective Belt)



## "핵을 지키는 방패이자 완충지대"

보호대는 견고한 핵을 둘러싼 보조 가설(auxiliary hypotheses)과 초기 조건들의 집합입니다. 변칙 사례가 나타나면, 핵이 아니라 **보호대의 가설이 수정**됩니다.<sup>1)</sup>

사례: 뉴턴 역학의 보호대 — 사례 연구에서 자세히 다룹니다

### ☞ 행성 궤도 계산의 초기 조건

계산 시작 시 설정하는 행성의 초기 위치·속도·질량 값. 천왕성이 예측 궤도를 벗어나자 "우리가 모르는 행성이 있다"로 초기 조건을 수정함.

### ☞ 대기 굴절에 대한 보조 가설

지구 대기가 빛을 굴절시켜 별의 겉보기 위치를 틀어지게 함. 관측값이 예측과 다를 때 "굴절 보정이 불충분했다"로 설명 가능.

### ☞ 관측 장비의 정밀도에 대한 가정

당시 망원경·시계 등의 오차 범위. "장비 오차 내의 차이"로 변칙을 흡수하거나, 새 장비 도입으로 보호대를 개선할 수 있음.

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 48–52). Cambridge University Press.

## 6. 부정적 발견법 (Negative Heuristic)



### "핵을 건드리지 말라!"

변칙 사례가 발생하더라도 반증의 화살(modus tollens)을  
**견고한 핵이 아닌 보호대로 돌려야 한다는**  
방법론적 금지 규칙입니다.<sup>1)</sup>

→ 변칙이 생겨도 핵은 건드리지 않는다. 보호대를 수정한다.

#### 💡 쿤과 라카토스의 결정적 차이

##### 🟡 쿤 사회심리적 압력

"공동체 전체가 그렇게 믿기 때문에" 패러다임을 의심하지 않는다.

→ 비합리적·사회학적 설명

##### 🟢 라카토스 전략적 선택

"핵을 아직 포기하면 안 된다." 프로그램이 성과를 낼 기회를 준다.

→ 합리적 방법론적 결정

※ 핵을 보호하는 행위는 같아 보여도, 그 이유가 다르면 과학의 합리성 여부가 달라집니다.

##### 🔴 뉴턴 역학 적용

천왕성 궤도 이상 발견 → "뉴턴의 법칙이 틀렸나?"가 아니라 → "보호대(초기 조건)를 수정하자"

1) Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 133–135). Cambridge University Press.

## 7. 긍정적 발견법 (Positive Heuristic)

### "보호대를 이렇게 수정·발전시켜라"

긍정적 발견법은 연구 프로그램의 **발전 로드맵**입니다. 보호대를 어떤 방향으로 수정하고, 어떤 새로운 보조 가설을 추가하며, 어떤 예측을 만들어야 하는지에 대한 **구체적 지침**을 제공합니다.<sup>1)</sup>

#### 사례: 뉴턴 역학의 긍정적 발견법

"행성의 궤도가 예측과 다르면, 아직 발견되지 않은 천체의 중력 영향을 계산하여 보호대에 추가하라."

→ 이 지침 덕분에 해왕성이 발견되었습니다!



#### 연구의 나침반

과학자가 다음에 무엇을 해야 할지 알려주는 **미리 짜인 계획**

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 50–51). Cambridge University Press.

# 변칙 사례에 대한 세 가지 관점 비교

구분	포퍼	쿤	라카토스
변칙 사례 발생 시	이론을 즉시 <b>폐기</b>	무시하거나 임시변통적 가설로 <b>버팀</b>	<b>보호대를 수정</b> 하여 핵을 보호
과학의 합리성	합리적 (논리적)	비합리적 (사회심리적)	<b>합리적</b> (방법론적)
과학혁명	반증 → 새 이론	위기 → 개종	<b>퇴행적</b> → <b>전진적</b> 프로그램 교체
평가 단위	개별 이론	패러다임	<b>연구 프로그램</b>

## 8. 전진적 연구 프로그램 (Progressive)

### 새로운 사실을 예측하고 확인하는 프로그램

보호대를 수정할 때, 단순히 변칙 사례를 '설명'하는 데 그치지 않고, **아직 관찰되지 않은 새로운 사실(novel facts)**을 예측하며, 그 예측이 실제로 확인되는 프로그램입니다.<sup>1)</sup>



**이론적 전진**

새로운 예측을 만들어냄

+



**경험적 전진**

예측이 실제로 확인됨



1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 33–34). Cambridge University Press.

## 9. 퇴행적 연구 프로그램 (Degenerating)

### 새로운 예측 없이 변명만 늘어나는 프로그램

보호대를 수정하지만, 그 수정이 이미 알려진 변칙 사례를 사후적으로 설명하는 데 그칠 뿐, 새로운 사실을 예측하지 못하거나 예측이 반증되는 프로그램입니다.<sup>1)</sup>



#### 이론적 퇴행

새로운 예측을 만들지 못함

또는

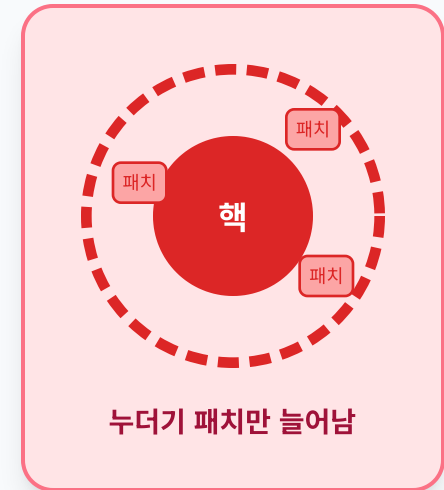


#### 경험적 퇴행

예측이 반증됨

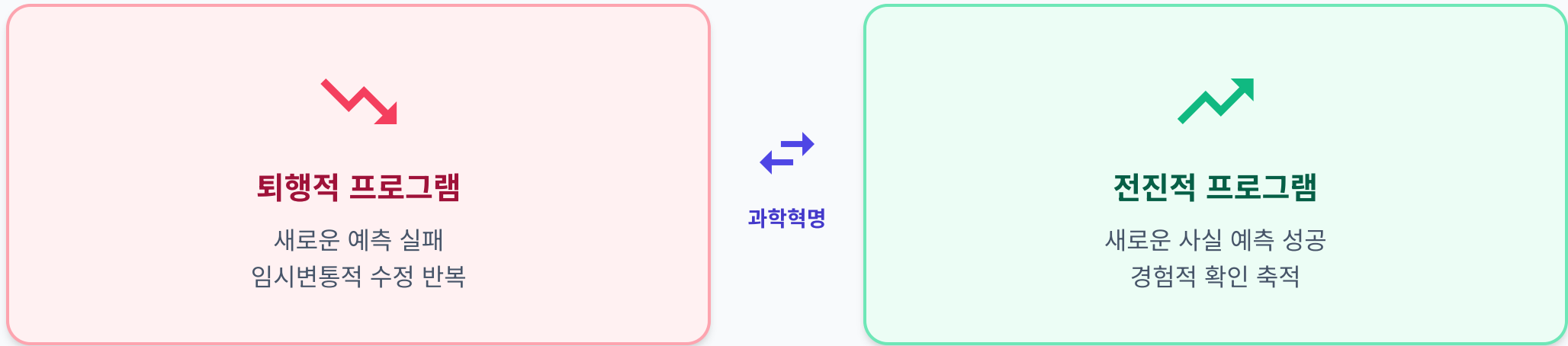


4주차에 배운 **임시변통적 가설(Ad hoc)**이 바로 퇴행적 프로그램의 전형적 증상입니다!



1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 33–34). Cambridge University Press.

# 10. 과학혁명의 재정의



라카토스에게 과학혁명이란, 쿤처럼 **비합리적 개종**이 아니라,  
퇴행적 프로그램이 전진적 프로그램에 의해 **합리적으로 대체**되는 과정입니다.<sup>1)</sup>

단, 경쟁하는 프로그램들은 항상 공존할 수 있으며, 패배한 프로그램도 부활할 수 있습니다.

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 33-34). Cambridge University Press.

Musgrave, A., & Pigden, C. (2021). Imre Lakatos. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*.



# 사례 연구

---

라카토스의 연구 프로그램 방법론을 과학사에 적용하기

# 사례 1: 천왕성 궤도의 변칙과 해왕성 발견

## ⚠ 변칙 사례 (1821)

천왕성의 실제 궤도가 뉴턴 역학의 예측과 크게 어긋남

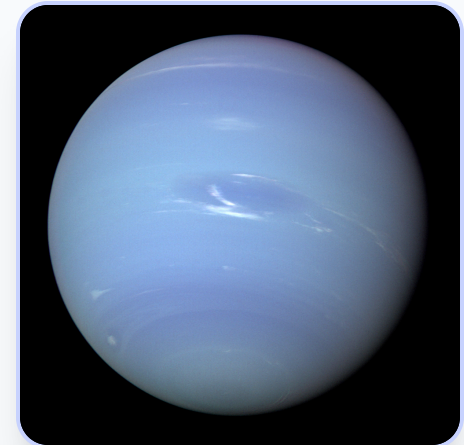
## 🔧 보호대 수정

"아직 발견되지 않은 행성이 천왕성의 궤도에 영향을 주고 있다"는 보조 가설 추가

## ✅ 전진적 예측 확인 (1846)

르베리에(Le Verrier)와 아담스(Adams)가 새 행성의 위치를 계산 → **해왕성 발견!**<sup>1)</sup>

라카토스의 해석: 뉴턴 역학은 전진적 연구 프로그램이었다. 보호대 수정이 새로운 사실(해왕성)의 발견으로 이어졌기 때문이다.



Neptune by Voyager 2 (NASA/JPL, Public Domain)

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 16–17). Cambridge University Press.

# 사례 2: 보조 가설 수정 — 브래들리의 광행차 발견 (1728)

## ⚠ 변칙 (17세기~)

뉴턴 역학으로 예측한 별의 위치 ≠ 실제 관측 위치. 대기굴절 보정을 적용해도 체계적 오차가 남음.

## 🔧 보조 가설 교체

"대기굴절 보정표 오류"라는 기존 가설 교체 → 브래들리: "지구의 공전으로 별빛이 기울어져 보인다(광행차, aberration of light)". 뉴턴 역학(핵)은 그대로.

## ✅ 전진적 성과 (1728)

광행차 발견으로 빛의 유한한 속도와 지구의 공전이 동시에 확인. 보조 가설 교체가 두 가지 신규 물리 사실 예측·확인으로 이어짐.<sup>1)</sup>

라카토스의 해석: 핵을 건드리지 않고 보조 가설을 교체하여 신규 물리 현상을 예측·확인한 전진적 보호대 수정의 전형.

### 광행차(Aberration of Light) 원리



먼 별 (실제 위치)

### ↓ 빛의 진행

← 지구 공전 방향



↗ 겉보기 위치 ↗

지구가 공전하므로 별빛이 비스듬히 들어옴  
→ 겉보기 위치가 실제와 다르게 관측됨

1) Bradley, J. (1728). A new apparent motion discovered in the fixed stars. *Philosophical Transactions*, 35, 637-661.; Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes* (Vol. 1, pp. 48-52). Cambridge University Press.

# 사례 3: 관측 조건 수정 — 베셀의 연주시차 측정 (1838)

## ⚠ 변칙 (16~18세기)

지동설이 맞다면 가까운 별의 연주시차(annual parallax)가 관측되어야 함. 수 세기 동안 측정 실패 → 반코페르니쿠스주의자들의 반론 근거.

## 🔧 관측 조건 보조 가설 수정

"별까지의 거리가 현재 장비 측정 한계를 훨씬 넘을 만큼 멀다"는 가설로 변칙 흡수. 뉴턴 역학 + 지동설 (학)은 그대로. 더 정밀한 장비 개발의 동력이 됨.

## 🏆 전진적 성과 (1838)

베셀(F. W. Bessel), 고정밀 헬리오미터로 백조자리 61번 별 연주시차 0.314" 최초 측정 성공. 코페르니쿠스의 수 세기 전 예측이 마침내 확인됨.<sup>1)</sup>

라카토스의 해석: 관측 조건 가설이 장비 개선의 동기가 되어, 수 세기에 걸친 신규 사실 확인으로 이어진 장기적 전진적 프로그램.

### 연주시차(Annual Parallax) 원리



백조자리 61번 별까지 거리

**11.4 광년**

베셀 측정값 (1838)

1) Bessel, F. W. (1838). Bestimmung der Entfernung des 61sten Sterns des Schwans. *Astronomische Nachrichten*, 16, 65–96.; Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes* (Vol. 1, pp. 48–52). Cambridge University Press.

# 사례 4: 프톨레마이오스 vs 코페르니쿠스

## ↘ 프톨레마이오스 (퇴행적)

- × 행성 운동의 변칙 → 주전원(epicycle)을 계속 추가
- × 주전원 위의 주전원... 보호대만 비대해짐
- × 새로운 사실을 예측하지 못함
- × 사후적 설명(ad hoc)만 반복

## ↗ 코페르니쿠스 (전진적)

- ✓ 지동설이라는 새로운 견고한 핵 제시
- ✓ 금성의 위상 변화를 새롭게 예측
- ✓ 갈릴레이의 망원경 관측으로 확인<sup>1)</sup>
- ✓ 연주시차 예측 → 후대에 확인

1) Lakatos, I. (1978). Why did Copernicus's research programme supersede Ptolemy's? In *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1, pp. 168-192). Cambridge University Press.

# 라카토스 이론의 의의와 한계

## 👍 의의

**과학의 합리성 복원:** 쿤의 상대주의를 극복하고, 과학이 합리적으로 발전한다는 것을 보여줌

**과학사와의 정합성:** 실제 과학사를 포퍼보다 훨씬 잘 설명함

**구획 기준 제시:** 전진적/퇴행적 구분으로 과학과 사이비 과학을 구분하는 새로운 기준 제시<sup>1)</sup>

## 🗨️ 한계

**시간 문제:** 언제 프로그램이 "충분히 퇴행적"이라고 판단할 수 있는가? 라카토스는 명확한 기준을 제시하지 못함<sup>2)</sup>

**파이어아벤트의 비판:** "무엇이든 좋다"가 아니라면, 결국 어떤 규칙을 따라야 하는가?

**사후적 판단:** 전진적/퇴행적 판단은 사후에만 가능하며, 현재 진행 중인 과학에 대한 실시간 지침이 되기 어려움

1) Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers* (Vol. 1). Cambridge University Press.

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

# 중간 정리: 라카토스 연구 프로그램 핵심 개념

개념	영어 명칭	설명
견고한 핵	Hard Core	프로그램의 핵심 가정. 관례에 의해 반증 불가능으로 설정됨.
보호대	Protective Belt	핵을 둘러싼 보조 가설들. 변칙 사례 발생 시 수정 대상.
부정적 발견법	Negative Heuristic	"핵을 건드리지 말라"는 금지 규칙.
긍정적 발견법	Positive Heuristic	보호대를 어떻게 수정·발전시킬지에 대한 연구 지침.
전진적 프로그램	Progressive	새로운 사실을 예측하고, 그 예측이 확인되는 프로그램.
퇴행적 프로그램	Degenerating	새 예측 없이 사후적 설명만 반복하는 프로그램.



# 디지털 교과서와 가상실험의 함정

---

'완벽한 실험'이 만드는 과학적 오개념

# 11. AI 디지털 교과서와 가상실험의 시대

2025년부터 도입되는 **AI 디지털 교과서**는 가상실험(Virtual Lab) 기능을 핵심 콘텐츠로 포함합니다. 학생들은 태블릿 위에서 시뮬레이션을 통해 과학 실험을 수행합니다.<sup>1)</sup>



## 안전성

위험한 실험도 안전하게



## 반복 가능

무한 반복 실험



## 비용 절감

실험 재료비 불필요



## 접근성

시공간 제약 없음



## [이미지 필요]

AI 디지털 교과서 가상실험 화면 캡처

AI Prompt: "A student using a tablet showing a virtual chemistry lab simulation with perfect ideal results on screen, Korean classroom setting, photorealistic"

1) 교육부 (2023). AI 디지털교과서 추진방안. 대한민국 교육부.

## 12. 가상실험의 '완벽함'이 주는 환상



### 가상실험의 결과

$$F = ma$$

항상 이론값과 정확히 일치  
오차 = 0, 예외 = 0



### 실제 실험의 결과

$$F \approx ma \pm \epsilon$$

마찰, 공기저항, 측정 오차...  
예상치 못한 결과 빈번

가상실험은 **이상화된 세계(idealized world)**를 보여줍니다.  
학생들은 "실험은 항상 교과서대로 나와야 한다"고 믿게 됩니다.

# 문제점 1: 오차와 불확실성의 부재

실제 과학 실험에서 **오차(error)**와 **불확실성(uncertainty)**은 피할 수 없는 본질적 요소입니다. 그러나 가상실험에서는 이러한 요소가 완전히 제거됩니다.<sup>1)</sup>

## 과학의 본성(NOS) 관점에서의 문제

- ❗ **잠정성(Tentativeness):** 과학 지식은 항상 수정 가능하다는 것을 경험하지 못함
- ❗ **관찰의 이론 의존성:** 같은 데이터도 다르게 해석될 수 있다는 것을 알 수 없음
- ❗ **측정의 한계:** 모든 측정에는 오차가 있다는 기본 원리를 무시



## 문제점 2: 과학적 오개념의 고착화



### 오개념 1

"실험 결과는 항상 이론값과 정확히 일치해야 한다."

→ 실제 실험에서 오차가 나면 "실패"라고 인식



### 오개념 2

"과학적 방법은 하나의 정해진 절차를 따른다."

→ 가설→실험→결론의 기계적 반복만 학습<sup>1)</sup>



### 오개념 3

"과학 이론은 실험으로 증명될 수 있다."

→ 가상실험의 완벽한 결과가 이 오개념을 강화

이러한 오개념들은 과학의 본성(Nature of Science)에 대한 왜곡된 이해를 형성하며, 학생들이 실제 과학 탐구 상황에서 적절한 판단을 내리지 못하게 만듭니다.

# 문제점 3: 가설-연역법(HD method)의 기계적 반복

대부분의 가상실험은 **가설-연역법(Hypothetico-Deductive method)**에 무비판적으로 의존합니다. 학생은 가설을 세우고, 시뮬레이션을 돌리고, 예상대로 결과가 나오면 "확인"하는 과정을 반복합니다.<sup>1)</sup>

## Chen(2010)의 핵심 비판

"Duhem과 Kuhn 이후, 가설과 증거의 관계는 **전체론적(holistic)**이지 연역적이지 않다는 것이 밝혀졌다. 그러나 대부분의 가상실험은 여전히 HD 방법에 무비판적으로 집착한다."



1) Chen, S. (2010). The view of scientific inquiry conveyed by simulation-based virtual laboratories. *Computers & Education*, 55(3), 1123-1130.

# 13. "진짜 과학은 지저분하다" (Science is Messy)

## 실제 과학 실험의 특징

- ✂ 예상치 못한 결과가 자주 나타남
- ⚙ 실험 조건을 완벽하게 통제하기 불가능
- 📊 데이터 해석에 판단과 맥락이 필요
- 👥 동료 과학자와의 토론과 합의 과정이 필수
- 🔄 실패와 재시도가 일상



## 핵심 통찰

가상실험과 실제 실험을 병행해야 합니다. 가상 실험만으로는 과학의 본질적 속성인 **불확실성, 오류 가능성, 창의적 문제 해결**을 경험할 수 없습니다.<sup>1)</sup>

# 14. 라카토스의 관점에서 본 가상실험

## ❁ 연구 프로그램의 관점

가상실험은 학생들에게 "견고한 핵은 절대 틀리지 않는다"는 인상을 줍니다. 보호대의 수정, 번칙 사례와의 씨름, 새로운 예측의 생성 과정을 경험할 수 없습니다.

## ⚠ 퇴행적 학습의 위험

가상실험의 반복은 퇴행적 연구 프로그램과 유사합니다. 새로운 사실을 예측하지 못하고, 이미 알려진 결과를 확인하는 사후적 설명(ad hoc)만 반복합니다.

## 🎓 과학교육에의 시사점

학생들이 전진적 연구 프로그램의 경험을 하려면, 예상치 못한 결과를 만나고, 보호대를 수정하며, 새로운 예측을 만들어보는 **실제 실험(hands-on experiment)**이 반드시 필요합니다.

# 토론: 가상실험을 어떻게 개선할 수 있을까?



## 토론 질문 1

가상실험에 **의도적으로 오차와 노이즈**를 추가한다면, 학생들의 과학적 사고에 어떤 변화가 있을까요?



## 토론 질문 2

라카토스의 관점에서, 가상실험이 **진진적 학습 경험**이 되려면 어떤 요소가 추가되어야 할까요?



## 토론 질문 3

가상실험과 실제 실험의 **최적의 조합 비율**은 어떻게 결정해야 할까요?



## 토론 질문 4

디지털 네이티브 세대에게 "**과학은 지저분하다**"는 메시지를 어떻게 전달할 수 있을까요?



# 과제 안내

---

디지털 교과서 가상실험 비판문 작성

# 과제: 디지털 교과서 가상실험 비판문 작성

## 📖 과제 개요

- ✔️ 디지털 교과서의 가상실험 **하나**를 선택하여 직접 체험
- ✔️ 해당 가상실험이 과학의 본성(NOS)을 어떻게 **왜곡**하는지 분석
- ✔️ 라카토스의 연구 프로그램 관점에서 **비판적 논의** 전개
- ✔️ 가상실험의 **개선 방안**을 구체적으로 제안

## ☰ 필수 포함 내용

1. 선택한 가상실험의 **구체적 설명** (스크린샷 포함)
2. 가상실험에서 발견한 **과학적 오개념 유발 요소**
3. 라카토스의 **견고한 핵/보호대/발견법** 개념 적용
4. 가상실험이 **전진적/퇴행적** 학습 중 어디에 해당하는지 논증
5. 구체적인 **개선 방안** 3가지 이상

🔗 과제 담벼락 열기

# 과제 제출 방법



## 수업 중 과제 담벼락에 바로 제출!

별도 파일 제출 없음. 구글 계정으로 로그인 후 담벼락에 직접 입력하면 완료됩니다.

### ☞ 제출 항목 체크리스트



조 이름과 조원 이름 입력



체험한 가상실험 이름 (URL 선택)



가상실험 스크린샷 업로드



오개념 유발 요소 서술



견고한 핵 분석 서술



보호대 분석 서술



전진적/퇴행적 판단 + 근거



개선 방안 3가지 이상



과제 담벼락 열기

# 오늘의 핵심 메시지

---

과학은 **견고한 핵**을 지키면서 **보호대**를 수정하며 발전합니다.

**전진적** 프로그램은 새로운 사실을 예측하고,  
**퇴행적** 프로그램은 변명만 늘어갑니다.

**가상실험의 '완벽함'은 과학의 본질을 왜곡합니다.**  
**진짜 과학은 지저분합니다.**

NEXT WEEK

**Week 8: 온라인 퀴즈**

1주차~7주차 내용 범위