

## 2. 인과관계와 인과모형

정치학연구방법론

박상훈 (sh.park.poli@gmail.com)  
강원대학교

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

## 인과관계

- 어떤 현상의 생성경로, 어떻게 생겨서 어떻게 성립이 되는가를 추적하기 위한 분석구도로서, 경험적으로 입증될 수 없는 논리적 관계(logical relationship)임.
- 원인이 기능(function)하여 결과를 생산함:  $f$  (원인)  $\rightarrow$  결과
  - 이때의 '기능'은 다양한 방식일 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

**인과관계**:  $X \rightarrow Y$

- 함수방정식 (1):  $Y = F(X)$
- 함수방정식 (2):  $Y = a + bX$

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질: 반사실적 접근

인과관계를 엄밀하게 정의하려면 **반사실적 조건(counterfactual)**을 도입해야 함.

- 인과효과(causal effect)란 동일한 단위(unit)에서 처치변인(treatment variable)이 서로 다른 두 값을 취할 때 나타나는 종속변인의 체계적 차이를 의미함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질: 반사실적 접근

**예시:** 미국 하원의원 선거에서 민주당 현직 의원(incumbent)이 출마하는 경우와 그렇지 않은 경우를 비교해 보자. 어느 한 선거구에서 현직 의원의 선거결과를  $y_i^I$ , 동일한 조건에서 비현직 후보가 출마했을 때의 결과를  $y_i^N$ 이라 하면,

$$\text{실현된 인과효과} = y_i^I - y_i^N$$

- 이때  $y_i^N$ 은 실제로 발생하지 않은 **반사실적** 결과임.
- 같은 선거구에서 같은 시점에 두 가지 결과를 동시에 관찰할 수 없다는 근본적 한계가 존재함(KKV 1994).

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질: 체계적 요인과 비체계적 요인

현실에서 동일한 조건의 선거를 반복한다고 해도 매번 미세하게 다른 결과가 발생함.

- 후보의 말실수, 특정 집회의 흥행 여부, 투표 당일의 날씨 등 **비체계적(non-systematic)** 요인들이 개입하기 때문임.
- 따라서 인과효과를 확률변수(random variable)로 파악하고, 그 **평균 인과효과(mean causal effect)**를 추정하는 것이 현실적 목표가 됨.

$$\beta = E(Y_i^I) - E(Y_i^N) = \mu_i^I - \mu_i^N \quad (\text{KKV 1994})$$

- $\beta$ 는 반복 실험에서 나타나는 체계적 인과효과의 기댓값을 뜻함.
- **체계적 요인**(현직 효과, 유권자 구조 등)과 **비체계적 요인**(일시적 사건 등)을 구분하는 것이 인과추론의 핵심 과제임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

## 인과관계에 대한 경험과학적 시각

### 관계단위의 상호독립성

- 인과관계는 감각경험을 통해 인지할 수 있는 상호독립적 단위들로 구성됨.
- 어떤 현상은 '그와 다른' 현상의 소산으로서, 이 둘은 일정한 기능적 연관성 이외에 어떠한 본질적 동질성도 공유하지 않음.
- 즉, 원인과 결과가 명확히 서로 구별될 수 있는 독립적인 현상이라는 의미임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

## 인과관계에 대한 경험과학적 시각

### 규칙성과 재생성

- 인과관계는 단회성 사건이 아닌 규칙성과 재현가능성(replicability)을 띠어야 함.
- 경험적 증거들을 지속적이고 반복적으로 찾아내어야 비로소 양자 간의 인과관계를 학문적으로 받아들일 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

## 인과관계에 대한 경험과학적 시각

### 규칙성과 재생성

- 사회과학연구는 파악된 인과질서의 규칙을 언제나 '잠정적인 것'으로 간주함.
- 어떤 사회현상이 생기는 인과경로는 경험을 통해 귀납적으로 추론되나, 귀납적 일반화를 통해 도출된 인과질서는 관찰된 귀납사례의 범주에 제한되기 때문에 필연적으로 조건적 (conditional)일 수밖에 없음.
- 특정 사회현상을 불러일으키는 '모든 원인'을 통제하고 찾을 수는 없으며, 원인이 항상 일정한 결과를 100% 생산하는지, 더 나아가 진정으로 왜 그러한지를 경험적으로 완벽하게 확인할 수는 없음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 본질

**이론**은 **인과형 진술**의 형태를 가진 가설을 검증함으로써 도출됨.

## 인과관계에 대한 경험과학적 시각

### 규칙성과 재생성

- 사회과학연구는 인과질서의 규칙을 잠정적인 것으로 간주함.
- 인간의 복잡한 상호작용으로 인해 나타나는 사회현상은 끊임없이 가변적이며, 사회현상들 간 인과관계는 본질적으로 유동성(fluidity)을 보여줌.
- 결론적으로 사회과학에서의 인과관계는 불변의 법칙이라기보다 언제든지 변할 수 있는 뚜렷한 경향(tendency)이며 추세(trend)라고 보아야 함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 시간적 순차: 원인은 반드시 결과에 시간적으로 앞서야 함

각각 설명변인과 종속변인으로 여겨지는 변인들은 논리적 개연성뿐만 아니라, 적절한 시간차 (time lag)를 두고 발생했다는 명확한 경험적 근거를 확보해야 함.

만약 선후관계의 입증이 불가능하다면 이들을 결코 인과적으로 연결시킬 수 없음.

### 시간적 순차: 반드시 서로 연결하려는 현상들의 발생순차(time order)에 유의

$X_{t-n}$  [원인]  $\rightarrow$   $Y_t$  [결과]

- $t$ : 결과가 관찰된 특정한 시점
- $t - n$ : 원인이 발생한 보다 앞선 시점 ( $n > 0$ )

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 항상적 연계(constant conjunction)

어떤 현상(원인)의 변화가 다른 현상(결과)의 규칙적 변화를 지속적이고 안정적으로 수반할 때 (부수변이, concomitant variation) 비로소 이들 사이의 인과관계를 추론할 수 있음.

실제 사회과학 연구과정에 있어서 논리적 척도로서의 항상적 연계는 완벽한 입증이 어려워 다음의 경험적 척도로 대체됨.

- 통계적 공변(statistical covariance)
- 함수적 상관관계(functional correlation)

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 항상적 연계(constant conjunction)

즉, 설명변인과 종속변인 간 '공변규칙성'이 연구의 시간적 · 공간적 선행조건 하에서 안정적으로 나타날 때 인과관계의 추론에 요구되는 핵심적인 경험적 근거를 얻을 수 있음.

- 그러나 규칙적으로 같이 변한다는 공변규칙성만을 근거로 인과관계의 존재를 단정해서는 안 됨.
- 공변규칙성은 경험적으로 관측된 현상들의 개별적 변이양상(variance)을 통계적으로 연결시킬 수 있다는 외형적 점멸을 보여줄 뿐임.
- 원인이 결과를 실제로 무언가를 통해 '생산'했다는 메커니즘 차원의 인과성 본연적 의미를 완전히 담보하지는 못함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 항상적 연계(constant conjunction)

항상적 연계는 인과관계 성립을 위한 필요조건(necessary condition)에 해당함.

- 설명변인과 종속변인이 일정한 규칙에 따라 유의미하게 공변하지 않는다면 인과관계의 추론 시도 자체가 불가능함.
- 하지만 공변한다고 해서 그것이 인과관계의 실재를 입증하는 충분조건이 될 수는 없음.

**필요조건**과 **충분조건**, **필요충분조건**의 차이를 인과론의 관점에서 명확히 이해해야 함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 인과추론의 근본 문제(Fundamental Problem of Causal Inference)

항상적 연계만으로 인과관계를 완벽히 확증할 수 없는 보다 근본적인 이유가 존재함.

- 어떤 단일 관찰 단위  $i$ 에서 처치변인이 동시에 두 가지 값을 취하는 것은 물리적으로 불가능하므로,  $y_i^I$ 와  $y_i^N$  중 현실에서는 반드시 하나만 관찰할 수 있음.
- 이를 **인과추론의 근본적인 문제(Fundamental Problem of Causal Inference)**라 명명함.

이 문제는 관찰 데이터가 아무리 방대하더라도, 연구설계가 아무리 정교하더라도 완전히 해소될 수 없는 논리적 한계임.

- 따라서 모든 사회과학의 인과추론은 확률적 **불확실성의 추정**일 수밖에 없으며, 그 불확실성을 솔직하게 수용하고 제시하는 것이 타당한 과학적 태도임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 탈허위성(nonspuriousness)

설정된 인과관계가 제3의 요인에 의한 허위성(spuriousness)을 가져서는 안 됨.

설명변인 → 종속변인의 관계가 외부 요인에 휘둘리지 않는 진정한(genuine) 것이어야 함.

- 통계적으로 유의미해 보이더라도 허위성은 미처 파악하지 못한 제3의 통제변인 영향력 때문에 우연히 겹쳐 나타나는 경우가 많음.
- 외부 교란 변인을 투입했을 때 초기의 인과적 관계가 붕괴되는지, 굳건히 유지되는지를 통계적으로 테스트함으로써 파악할 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 근본 문제의 해결 전략: 단위동질성과 조건부 독립

앞서 언급한 인과추론의 근본 문제를 우회하기 위해 연구자들은 두 가지 핵심 가정을 도입함.

### 단위동질성(unit homogeneity)

- 비교 대상이 되는 두 관찰 단위가 처치변인의 값이 동일할 경우, 종속변인의 산출 기댓값도 동일할 것이라는 강력한 가정임.
- **예시:** 서로 다른 두 선거구가 현직 의원 출마 여부 외의 모든 사회경제적 조건이 동일하다면, 한 선거구의 관찰값을 활용해 다른 선거구의 결측된 반사실적(counterfactual) 결과를 추정할 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 근본 문제의 해결 전략: 단위동질성과 조건부 독립

#### 조건부 독립(conditional independence)

- 설명변인(처치변인)의 값이 잠재적 종속변인의 결과값과 완전히 독립적으로 배분된다는 가정임.
- 실험 연구(Experimental Design)에서는 처치의 무작위 배분(random assignment)이 이를 기계적으로 보장함.
- 비실험 관찰 연구(Observational Study)에서는 역으로 결과에 영향을 미칠 수 있는 모든 교란변인을 철저히 통제함으로써 이 상태에 근사적으로 도달하고자 노력함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 인과추론의 세 가지 핵심 차원(Three Facets of Causal Inference)

최근 경험적 사회과학에서는 인과추론의 목적을 크게 세 가지 차원으로 세분화하여 접근함 (Gailmard, 2026).

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 인과추론의 세 가지 핵심 차원(Three Facets of Causal Inference; Gailmard, 2026)

- **인과적 식별(Causal Identification)**: 관찰된 데이터 표본 내에서 구체적인 처치효과 (treatment effects)의 존재 유무와 크기를 정밀하게 측정하는 작업임 .
- **인과적 설명(Causal Explanation)**: 데이터의 표면적 인과효과를 넘어, 그 관찰 결과를 기저에서 실제로 생성해내는 사회-행태적 과정(social-behavioral process)을 이론적으로 밝혀내는 작업임. 특정 현상에 부합하는 고유한 통일된 이론적 모형이 증명될 때 비로소 달성됨.
- **인과적 일반화(Causal Generalization)**: 통제된 특정 사례나 특수 환경에서 도출된 인과 모형을 다른 모집단이나 새로운 맥락으로 투사하여 인과적 지식의 보편성을 축적해 나가는 거시적 작업임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과관계의 추론

### 식별(Identification)과 설명(Explanation)의 상호관계

수리적이고 설계 기반의 '인과적 식별'이 달성되었다고 해서 그것이 곧 완벽한 '인과적 설명'을 보장해 주지는 않음.

- 특정 식별 전략을 통해 하나의 명확한 인과효과를 측정해 내더라도, 그러한 동일한 인과 구조 양상을 산출할 수 있는 대안적이고 경쟁적인 이론적 모형들이 다수 존재할 수 있기 때문임.
- 그러나 인과적 식별 수준이 고도화될수록, 관찰 결과와 양립할 수 없는 부적절한 대안 모형들을 하나씩 기각시켜 주므로 결과적으로 인과적 설명의 질적 수준을 크게 향상시킴.
- 반대로, 특정 사례를 완전히 설명해내는 고유한 이론적 모형을 찾았다면, 이는 그 모형 체계 내에 속한 모든 변인 간의 논리적 쌍방향 관계까지 파악한 것이므로 이론적으로 가장 높은 수준의 인과적 식별을 동시에 달성한 것으로 간주할 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

과학적 연구는 직접적인 현실 그 자체가 아닌 가공된 모형(model)을 통해 이루어짐.

- 모형은 무한히 복잡한 현실세계의 인과 구조를 연구자의 이론적 목적에 맞게 재구성한 분석기제(analytic device)임.
- 모형은 주로 두 가지 요소로 구성됨.
  - 연구대상의 핵심구성단위로서 계량화가 가능한 **작동변인(operating variable)**
  - 작동변인들 간의 구체적 영향 관계가 형성되고 흐르는 **경로(path)**
- 즉, **인과모형(causal model)**이란 어떤 사회현상의 발생 및 생성 경로를 체계적, 도식적으로 보여주는 지도라 할 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형과 이론적 모형(Theoretical Model)의 결합

인과모형은 단순히 측정 가능한 변인들을 통계적으로 묶어둔 표면적 도구를 넘어섬.

- 관찰 가능한 실증 데이터 ( $P$ )의 이면에는 연구자가 상정하는 관찰 불가능한 잠재 변인 (latent variables)과 이들의 논리적 흐름인 인과 그래프(causal graph)로 엮인 거대한 '**이론적 모형**'이 베이스로 존재함.
- 이러한 이론적 모형은 관찰 데이터가 우연히 형성된 것이 아니라, 합리적 선택, 심리적 기제, 사회 구조적 압력 등 실제 현실에서 데이터 관계를 자아내는 '**생성적 인과 모형 (generative causal model)**'의 본질적 역할을 수행함.
- 즉, 강력한 설명력을 확보한 이론 모형은 개별 인과효과들이 단편적으로 기능하는 것이 아니라 언제, 어떻게 서로 맞물려 발현되는지를 구조적인 다발(bundle of effects) 형태로 통합하여 보여줌.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

모형은 현실세계와의 상호조응성(isomorphism)을 기반으로 축조됨.: 연구가 산으로 가지 않도록 막아주는 길잡이의 역할을 함.

- 모형은 본질적으로 복잡성을 덜어낸 단순하게 재구성된 현실(simplified reality)임.
- 모형의 설계자는 특정 '이론'을 렌즈로 삼아, 무수히 얽혀있는 실제 현상의 표출양상 가운데 논리적으로 가장 중요하다고 판단되는 요인만을 선택해 그들 간의 관계양상을 설정함.
- 따라서 동일한 하나의 사회적 현상이라 할지라도 연구자가 채택한 관점과 추출 기준에 따라 서로 전혀 다른 형상의 인과모형들이 얼마든지 병존할 수 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

모형은 원칙적으로 검증된 이론에 기초를 두고 파생되지만, 정립된 이론이 부재한 탐색적 단계에서는 연구자의 고유한 논리적 직관과 판단에 따라 자생적으로 만들어질 수 있음.

- 그러나 그 뼈대가 이론이든 고유 판단이든, 현실 축약 과정에서 필연적으로 수반되는 작동변인의 배타적 선택과 변인 간 경로 설정의 '불완전성'이라는 태생적 굴레를 결코 벗어나지 못함.
- 모형은 어디까지나 다면적인 현실을 목적에 맞게 단순화하고 투영한 불완전한 재구성체에 불과하다는 겸허한 인식이 요구됨.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

모형은 모사하고자 하는 현실세계와 두 가지 층위의 조응성을 목표로 함.

- **구조적 상호조응성(structural isomorphism)**: 모형 내 변인들의 연결망 구조가 겉으로 드러나는 현실 대상의 뼈대와 유사하게 매칭되는 상태임.
- **기능적 상호조응성(functional isomorphism)**: 도식적 구조를 넘어, 인자가 실제로 맞물려 작동하고 결과를 도출하는 내적 동학(기능)까지 현실 메커니즘과 완벽히 일치하는 상태를 뜻함 (현실적으로 달성 불가능에 가까움).

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

결론적으로 사회과학연구의 모형은 대부분 표면적인 형태만 닮은 구조적 상호조응성만을 취한 불완전한 모형일 수밖에 없음.

- 이성을 가진 자유의지 주체인 인간의 복합적인 사회적 상호작용을 다루는 부분에 있어서 기계 부품처럼 딱 떨어지는 기능적 상호조응성을 구현한 모형을 설계하기란 대단히 어렵기 때문임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 인과모형의 의미

사회현상 모형이 구조적 조응에 머무를 수밖에 없는 근본적 이유

1. 인간의 행위 패턴과 심리적 정향은 일관된 자연현상과 달리 시간과 맥락에 따라 끊임없이 변동하며,
2. 실험실 밖의 현실계에서 모형을 구성하는 인자(작동변인)들을 연구자가 완벽하고 엄격하게 통제하는 것이 원천적으로 불가능하고,
3. 인간 대상을 조작하는 것에 대한 넘을 수 없는 연구 윤리적 장벽이 상존하기 때문임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 모형 · 이론 · 가설: 모형의 기능

학술 문헌에서 모형, 이론, 가설이라는 용어가 빈번히 혼용되거나 구분되어 사용되는 것은 각 연구 단계가 지니는 방법론적 성숙도와 포괄성의 성격 차이 때문임.

- **가설(Hypothesis)**: 구체적인 실증 데이터로 검증되기 이전 단계에서, 어떤 현상의 인과적 생성경로에 관해 연구자가 품고 있는 선험적 기대나 직관적 예상만을 담은 서술적 진술임.
  - **가설모형(hypothetical model)**: 추상적 가설이 실증적 검증에 필요한 구체적 방법론적 요건을 구조화하여 갖춘 상태를 의미함.
    - 추상적 구성개념이 측정 가능한 경험적 지칭성을 지닌 '작동변인'으로 구체화되고, 애매했던 이들 간의 연계구조가 방향성을 지닌 화살표나 통계적 상관관계와 같이 구체적 형상을 띤 관계경로로 설계될 때 성립함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 모형 · 이론 · 가설: 모형의 기능

개별 연구에서 검증을 마친 특수한 성격의 흩어진 확증모형들을 관통하는 보편적인 패턴을 추출하고 고도로 추상화 및 일반화하는 과정을 거쳐 마침내 **이론(Theory)**이 탄생하게 됨.

이러한 사다리 구조 속에서 모형은 연구자의 관념적 '이론적 인식'과 텍스트화된 데이터인 '현실세계' 사이의 틈을 메워주는 튼튼한 교량 역할을 수행함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형

### 모형 · 이론 · 가설: 모형의 기능

**이론(가설)의 형태:**  $C_1 \rightarrow C_2$ . (이때  $C_1$ 과  $C_2$ 는 측정 방식이 정의되지 않은 추상적 구성개념임)

**수리적 모형의 형태:**  $V_3 = a + b_1V_1 + b_2V_2 + e$ .

- $V_3$ 는 조작적 정의를 통해 측정된  $C_2$ 의 실증적 작동변인(종속변인),  $V_1, V_2$ 는  $C_1$ 을 대변하는 세부 작동변인(설명변인)임.
- $e$ 는 이론이 포섭하지 못한 미지의 외부 요소들을 모두 담아낸 교란항(오차항)임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 변인

작동변인과 교란항: 정형화된 인과모형은 관계의 논리적 성격과 인지 여부에 따라 필연적으로 두 가지 유형의 인자 그룹으로 분리 구성됨.

- 명시적 인자: 연구의 관심사인 **종속변인**과 이를 초래하는 주요 원인으로 모델링 된 **설명변인**임.
- 암묵적 인자
  - 수식과 모형에서 생략되거나 누락된 수많은 미관측 요인들
  - 이는 모형설계자가 의도적으로 설정한 원인 ~ 결과 간의 관계 경로에 알게 모르게 침투하여 결과를 왜곡하거나 노이즈를 발생시킬 수 있는 외부의 잠재적 요인들을 총칭함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 변인

작동변인과 교란항: 인과모형은 인과관계의 논리적 성격에 따라 두 가지 작동변인으로 구성됨.

- 모형설계자가 이론적 직관의 한계나 데이터 수집의 한계로 미처 발견하지 못하였으나 종속변인에 비체계적인 잔여 영향력을 행사하는 외부요인들의 총합을 수리적으로 **교란항 (disturbance term)**이라고 부름.
  - 연구자는 모형 추정을 위해 본질적으로 **단순화가정(simplifying assumption)**을 내려야만 함: 연구자가 식별한 명시적 작동변인들만이 이 구역의 현실세계를 체계적으로 움직이는 주동력이며, 묵여있는 미지의 교란항이 미치는 평균적 영향력은 0에 수렴하여 무시할 수 있다는 강한 통계적 가정을 감수함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 변인

인과경로에 직간접적으로 영향을 주는 변인들은 속성에 따라 크게 세 가지 유형으로 분류됨.

- **설명변인**: 모형의 한가운데 위치하며 종속변인의 변화를 유발하도록 연구자가 직접 설정한 직 · 간접적 영향력의 주체 변인임.
- **중첩변인(confounding variable)**: 명시적 모형 공간에 포함되지 않은 외부요인이면서, 알곳게도 모형 속의 설명변인과 종속변인 모두의 분산에 강한 영향을 미쳐 마치 설명변인이 종속변인을 변화시키는 듯한 '허위 관계'의 착시를 일으키는 변인임.
- **교란항**: 철저히 모형 밖에 존재하는 미지의 외부 덩어리 변인임. 종속변인의 변량 중 일부를 설명하는 독자적 영향력은 가지고 있지만, 다행히 모형 내의 핵심 설명변인과는 통계적 상관성을 갖지 않아(독립적임) 계수 추정의 편향을 유발하지는 않는다고 가정되는 안전한 잔여 변수 집합임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 변인

방향성 기반 분류: 화살표의 흐름에 따라 내생변인(endogenous variable)과 외생변인(exogenous variable)으로 나뉨.

- **내생변인**: 인과 모형 시스템 내부에서 발생한 변화의 영향을 온전히 수신하는 변인으로서, 하나 이상의 화살표 머리를 받고 있는 모든 결과적 성격의 작동변인임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 변인

부분적 내생변인(partially-endogenous variables): 모형 속 다른 변인들의 영향을 받을 뿐만 아니라, 시스템 밖 교란항의 보이지 않는 영향에도 끊임없이 노출되어 반응하는 변인임.

- 외부 노이즈로부터의 완벽한 차단이라는 비현실적 가정을 탈피한다면, 모델 내 결과를 담당하는 모든 내생변인은 속명적으로 교란항을 내포한 부분적 내생변인의 지위를 가짐.

인과 메커니즘은 정체된 조각상이 아님. 경험적 관찰에 기반을 둔 과학적 연구에 있어서, 관측된 데이터를 엮어 만든 모든 모형은 시간의 흐름에 따라 변화하는 환경 속에서 계속 진화하거나 기존 경로가 일시적으로 붕괴되기도 하는 매우 동태적인 '과정적 성격'을 띠.

**외생변인:** 반대로 화살표를 내보내기만 할 뿐 시스템 내부 변인으로부터는 그 어떤 화살표도 받지 않는, 기원과 값이 모형 외부 영역에 의해 전적으로 독립적으로 결정되어 투입되는 최초의 원인 변인임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 구성단위: 인과경로

인과 모형을 시각화했을 때 표시되는 화살표 배선망, 즉 모형이 구체적으로 제시하고 있는 명시적 작동변인 간의 통로 혹은 암묵적 교란항과 작동변인 간의 숨은 영향력의 통로를 통칭함.

- 이러한 개별 인과경로의 파편들이 서로 꼬리를 물고 유기적으로 결합된 전체 그림을 **총체적 인과네트워크(casual network)**라 부르며, 이 네트워크의 밑그림은 온전히 데이터를 다루는 모형설계자의 시각에 채택된 이론적 프레임에 의해 주관적으로 직조됨.
  - **직접경로(direct path)**: 원인 변인이 출발하여 결과 변인으로 향하는 과정에서 그 사이에 그 어떤 경유지(매개변인)도 거치지 않고 직접적으로 충돌하는 1차선 경로임.
  - **간접경로(indirect path)**: 최초 원인 변인이 중간 경유지 역할을 하는 하나 이상의 매개 변인을 징검다리 삼아 단계적인 직접경로들을 연쇄적으로 거친 뒤 비로소 최종 결과에 도달하는 우회 경로임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 유형

현대 경험과학연구는 언어적 서술의 모호함을 극피하고자 주로 기호와 수식을 통해 모형을 정밀하게 제시함.

- 작동변인 간에 발생하는 변이를 측정하고 그들이 어떻게 함께 움직이는지 공변양상 (covariance)을 체계적, 양적으로 파악하는 데에는 **수리통계모형(mathematical-statistical model)**이 가장 보편적이고 적합한 언어로 평가받기 때문임.
- 수리적 접근은 모형 내 각 경로가 지닌 영향력을 수치로 명확히 보여주므로, 계량정보 (quantitative information) 특유의 강력한 상호주관성(inter-subjectivity)을 부여함. 이로 인해 동료 연구자들이 해당 모형의 현실 설명력과 미래 예측력을 객관적으로 검증하고 판정하기 매우 쉽다는 절대적 장점을 가짐.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

## 인과모형의 유형

### 축차모형(recursive model)

정보의 피드백이나 순환 과정 없이, 두 개 이상의 명시된 작동변인들이 마치 폭포수처럼 오직 한쪽 방향만을 향해 일방적이고 순차적으로 영향을 미치며 쏟아져 내리는 단방향적 인과 모형임.

# 인과관계와 인과모형

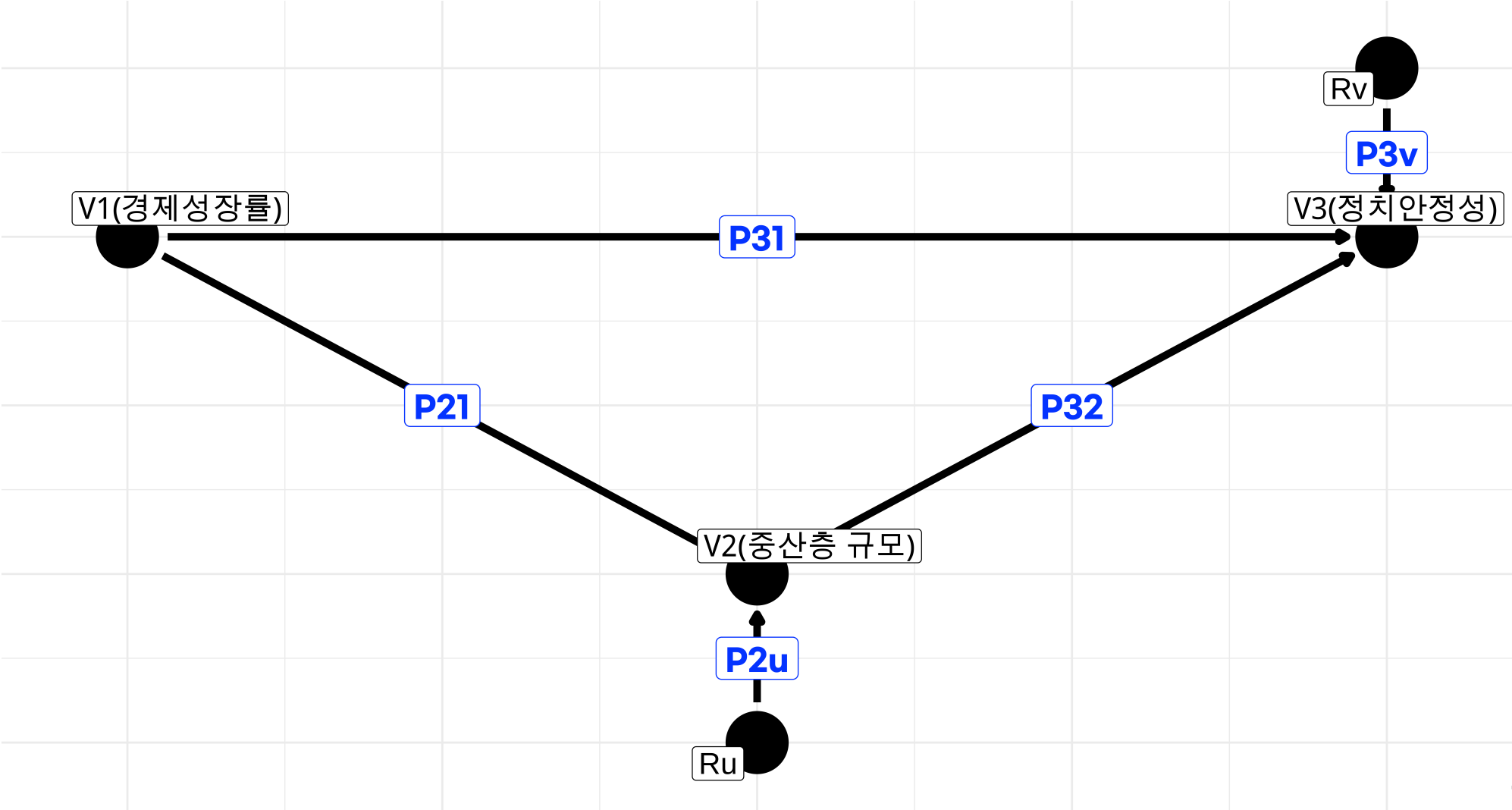
## 인과모형의 구조

## 인과모형의 유형

### 축차모형(recursive model): 구조적 전제조건

1. 논리적 흐름에 있어 원인이라는 명확한 최상단 출발점과 최종 결과라는 최하단 종착점이 위계적으로 뚜렷하게 존재함.
2. 출발점에서 종착점으로 향하는 인과경로의 화살표는 절대 역주행하거나 자신이 지나온 과거 변인으로 되돌아가 영향을 미치는 폐쇄루프(closed-loop)를 형성하지 않는 극도의 일방적(non-circulatory) 체계를 유지함.
3. 측정되지 않은 교란항이 각 내생변수에 개별적으로 침투하여 일정 부분 영향을 미친다는 통계적 사실을 겸허히 인정한 열린 모형(open model)의 형태를 띤다.

# 인과관계와 인과모형



# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 유형

#### 비축차모형(non-recursive model): 교란항

단방향인 축차모형에서와 마찬가지로, 이론에서 배제된 외부 노이즈인 각 교란항이 해당 종속변인에 행사하는 모종의 무작위적 영향력 공간 자체는 동일하게 필수적으로 인정하고 포용함.

그러나 축차모형의 철저히 상호 단절된 독립적 오차항 가정과는 매우 다르게, 상호 피드백 루프를 수용하는 복잡한 비축차모형의 얽힌 세계관에서는 변수 이면의 교란항들끼리조차도 어떤 형태로든 음성적인 연관망(통계적 공분산 존재)이 교차 형성되어 있을 수 있다는 가능성을 과감히 열어두고 수식화함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

## 인과모형의 유형

## 비축차모형의 수리적 표현: 구조방정식

2변인이 서로 물고 물리는 기본형 비축차모형의 1차 구조방정식 전개

- 구조방정식 1 (역방향 영향 포용):  $V_1 = P_{12}V_2 + P_{1U}R_U$
- 구조방정식 2 (정방향 영향 포용):  $V_2 = P_{21}V_1 + P_{2V}R_V$

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

## 인과모형의 유형

## 비축차모형의 수리적 표현: 구조방정식

2변인형 비축차모형 구조방정식의 순환 치환 과정을 통한 고도화된 수리 도출

- 구조방정식 1을 풀기 위해  $V_2$  자리에 방정식 2 전체를 대입:

$$V_1 = P_{12}(P_{21}V_1 + P_{2V}R_V) + P_{1U}R_U$$

- 구조방정식 2를 풀기 위해  $V_1$  자리에 방정식 1 전체를 대입:

$$V_2 = P_{21}(P_{12}V_2 + P_{1U}R_U) + P_{2V}R_V$$

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 검증

복잡한 네트워크형 축차모형과 순환형 비축차모형은 모두 그 구조적 타당성을 실증하기 위해 다중 회귀분석의 응용판에 기반을 둔 고등 통계인 **경로분석(path analysis)** 기법을 주력으로 관통시켜 모형 생존 여부를 검증받음.

- 여기서 경로분석 체계란 연구자가 도식화해 둔 모형 속 수많은 작동변인들 사이의 직·간접 인과경로망을 분해 추적하여 전체 구조방정식 모형의 경험적·구조적 타당성을 수치로 총체 판정해 주는 강력한 연쇄 통계분석기법임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 검증

이 경로분석 시스템 안에서는 네트워크상에 존재 가능한 모든 유형의 논리적 결합, 즉

- 명시적 설명변인 → 종속변인  
설명변인 → 매개 역할을 하는 또 다른 설명변인  
미지의 교란항 → 명시적 설명변인(비축차적 허용 시)  
미지의 교란항 → 종속변인

간의 단면도를 모두 분리하여 스캔함.

핵심 원리는 통계 데이터 속 산포에서 두 변인 간의 상관관계(correlation,  $R_{ij}$ ) 점수가 압도적으로 클수록, 그 둘을 이어주는 해당 경로 파이프라인에는 더욱 거대한 양의 인과적 영향력이 흐르고 있다는 합리적 판정에 기초함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 불완전성 · 잠정적 폐쇄성 · 상대성

아무리 치밀한 연구자라도 우주와 같은 특정 사회 현상의 거대한 인과적 생성경로 궤도에 직간접으로 관여하고 파장을 미치는 세상 모든 잠재 변인 나부랭이들까지 단일 모형 상자 안에 전부 우겨 넣을 수는 없음(인지 및 통계 처리 한계).

- 불가피하게 모형설계자는 무한히 이어지는 현실 세계 인과관계의 긴 사슬을 본인의 날카로운 이론적 시각의 가위로 적정 지점에서 과감히 절단하여 끊어내야만 함.
  - 즉, 데이터 바다 속 수많은 후보 중 이론상 가장 결정적인 타격력을 지닌 소수의 엘리트 지표인 핵심 주요 변인(critical variable)만을 추려 작동변인으로 승격시키는 취사선택의 고통을 겪음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 불완전성 · 잠정적 폐쇄성 · 상대성

아무리 치밀한 연구자라도 우주와 같은 특정 사회 현상의 거대한 인과적 생성경로 궤도에 직간접으로 관여하고 파장을 미치는 세상 모든 잠재 변인 나부랭이들까지 단일 모형 상자 안에 전부 우겨 넣을 수는 없음(인지 및 통계 처리 한계).

- 불가피하게 모형설계자는 무한히 이어지는 현실 세계 인과관계의 긴 사슬을 본인의 날카로운 이론적 시각의 가위로 적정 지점에서 과감히 절단하여 끊어내야만 함.
- 본래 사방이 뚫려 무한 개방된 현실을 인위적 모형으로 구축한다는 행위 자체는 곧, 뺏어나가는 열린 복잡계를 잠정적으로 통제된 폐쇄계 상자로 억지로 닫아버리는 폭력적 축소 작업임. → 따라서 도출된 모형은 완성판이 아니며 이후 추가 변수 유입에 따라 내부 구조가 진화하는 지속적 재조정 of 영원한 굴레를 안고 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 불완전성 · 잠정적 폐쇄성 · 상대성

게다가 모형 무대에 올릴 핵심 작동변인을 어떤 기준으로 발탁할 것인지에 관하여 모든 학자가 고개를 끄덕일 만한 보편타당하고 절대적, 단정적인 선택 기준 따위는 학계에 존재하지 않음.

- 그러므로 세상에 발표된 모든 빛나는 인과 모형은 영구불변의 진리가 아니라 오직 당대의 수집 데이터와 시대적 맥락 하에서만 반짝이는 지극히 상대적인 적실성(Relative Relevance) 수준의 칭호만을 획득할 뿐임.
- 현실의 넓은 캔버스 위에서는 완벽히 상반되는 모형들일지라도, 들이대는 사회적 상황과 조건의 조명에 따라 각기 나름대로 고유의 설득력과 번뜩이는 설명력을 무기 삼아 제 역할을 다방면으로 수행하고 있음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과경로의 개연성과 유동성

모형이 그림으로 제시하고 있는 뚜렷한 실선 화살표형 인과경로의 절대적 성격을 맹신할 것인가, 아니면 어떻게 의심하고 받아들여야 하는가의 인식론적 고민이 따름.

기계 부품처럼 딱 들어맞아 오차율 0을 자랑하는 수학적 단정적인 닫힌 모형 안에서는 본질적으로 예측오차(prediction error)라는 이탈 현상이 수학적으로 전혀 발생할 수가 없음.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과경로의 개연성과 유동성

그러나 우리가 발을 딛고 관찰하는 펄떡이는 현실 사회 세계는 10개, 20개의 통제된 변수가 아니라 무한대의 잡다한 변동 요인들이 우주 먼지처럼 난기류를 일으키며 빚어내는 무질서한 상호작용의 거대한 결과물임.

- 때문에 현실 데이터를 기반으로 구축된 기계적으로 완벽하게 사방이 꽉 닫힌 질식 상태의 단정적 모형은 이내 경직되어ダイナ미한 현실에 대한 적응 설명력과 유연한 미래 예측력을 처참히 상실하기 마련임.
- 따라서 모든 사회과학자는 모형 도출 시 어느 정도 현실과의 틈새 여백인 잉여의 예측오차 공간을 필수 보험으로 상정해 둬.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과경로의 개연성과 유동성

그러나 우리가 발을 딛고 관찰하는 펄떡이는 현실 사회 세계는 10개, 20개의 통제된 변수가 아니라 무한대의 잡다한 변동 요인들이 우주 먼지처럼 난기류를 일으키며 빚어내는 무질서한 상호작용의 거대한 결과물임.

요컨대 인간이 고안한 그 어떤 정밀한 통계 모형도 교란되는 예측오차를 꼬리표처럼 달고 있기에, 인과 경로 그 자체가 '무조건 이렇다'가 아니라 '대체로 이러할 개연성이 크다'라는 확률적 개연성과 조건적 유동성의 범주를 결단코 벗어나지 못하는 구조적 숙명을 지님.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

## 인과모형의 한계

## 인과경로의 개연성과 유동성

위에서 언급한 모형의 불가피한 오차 특성을 적나라하게 보여주는 다원 회귀모형(다중 회귀방정식) 꼬리의 오차항 잉여 구역:  $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + e$ .

- $e$ : 모형 내 엘리트 변수들의 설명 범위를 벗어나 버린, 아직 정체가 완전히 규명되지 않아 잡동사니로 뭉뚱그려진 미지의 찌꺼기 교란항 무리들의 합(오차항)임.
  - 통계학적 모델링 최적화의 제1과제는 이 정체불명의 쓰레기통  $e$ 가 핵심 표적  $Y$ 에 미칠 수 있는 영향(설명 불가능한 분산)을 최소화시키는 것
  - 이와 반비례하여 연구자가 투입한 설명변인  $X_1, X_2, X_3$  이  $Y$ 의 변동을 설명하는 통제력의 정도를 가능한 최대화하는 것

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과경로의 개연성과 유동성

인과네트워크의 경계를 외부로 얼마큼 과감히 확장하고 새로운 관측소를 설치하느냐에 따라 어제까지만 해도 부동의 원인이었던 동일한 주요 작동변인의 위상과 역할이 오늘 당장 곁가지 매개 변수나 결과 변수로 하루아침에 전복되어 뒤바뀔 수도 있음.

- 어떠한 인과모형의 위상은 지루한 모형검증 단계가 모두 성공적으로 무사 종료되어 논의의 인과구조가 논문 상에서 비로소 잠정적으로 광 닫혀 봉인되는 시점에 가서야 최종적인 진술로 아슬아슬하게 결정됨.
- 바꿔 말하면 도장을 찍기 전, 나아가 찍은 후라도 새로운 이론이 제기되는 한 모형 속에서 숨쉬는 모든 연결 화살표 인과경로는 살아 움직이는 생물처럼 항상 유동적이고 춤을 추는 불확정적 상태를 유지함.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과적 일반화(Causal Generalization)의 구조적 한계

어떤 하나의 특수 사례에서 극적으로 성공하여 입증된 인과 모형 구조를 다른 이질적 환경의 집단에 기계적으로 복사하여 덮어쓰기식 무조건 적용을 감행할 수는 없음.

- 성공적인 인과적 일반화를 안전하게 달성하려면 각 개별 사례가 내포하고 있는 고유한 배경적, 역사적, 맥락적 특성(contextual factors)의 함수 조건에 철저히 기초하여, 원천 모형의 형태가 타겟 환경에서 어떻게 찌그러지거나 변용되는지를 매핑 공식으로 알려주는 거시적인 '**모형 전달 함수(model transport map)**' 지침이 선행적으로 필요.
- 하지만 안타깝게도 축적된 숫자 데이터나 단편적 연구 설계 기법 그 자체만으로는 복잡한 메커니즘을 넘나드는 이 전달 매핑(mapping) 함수를 통계적으로 말끔하게 경험 도출해 내기가 극도로 어려움.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과적 일반화(Causal Generalization)의 구조적 한계

결국 외부 투사를 위해서는 어떤 파편 사례들이 본질적으로 깊은 뿌리에서 동일 메커니즘을 공유하고 묶일 수 있는지에 대한 **모형 설계 연구자의 극도로 엄격하고 치열한 이론적 전제와 헌신(theoretical commitments)의 희생이 강제 요구됨.**

궁극적으로 탄탄한 심층 이론에 뿌리박힌 모형 뼈대 확립 노력 없이는, 표면적 데이터가 주는 알팍한 통계적 검증 엄밀성만 맹신해서는 결단코 사회과학 지식의 범위를 확장하고 보편적 법칙으로서의 외부 타당성(external validity) 고지를 점령하기란 불가능에 가까움.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과적 불확실성과 과학적 태도

사회과학에서 수리적 통계 기반 인과추론이 구조적으로 불확실성을 영원히 내포할 수밖에 없다는 사실이, 학자들로 하여금 엄정한 인과적 주장 기조 그 자체를 비겁하게 회피하거나 포기해야 한다는 패배주의적 의미를 뜻하는 것은 결코 아님.

- 지적 개척자로서 인과관계의 밀림을 탐구할 때는 모형의 발견을 **대담하고 선명하게 인과적 언어로 주장하되, 반대급부로 그 도출 근간에 깔려있는 피할 수 없는 측정과 통제의 불확실성을 학계에 남김없이 솔직하게 나열하여 제시**하는 양면적인 포용 자세가 바로 곳곳하고 올바른 과학적 연구자의 정도(태도)임.
  - 그저 안전제일주의에 빠져 "통계적 상관관계는 결코 인과관계가 아니다"라는 교과서적 방패 뒤에 숨어 유의미한 현상의 인과적 해석 진술 작성을 완전히 기피해버린다면, 해당 연구물은 이내 현실 문제 해결의 적실성을 잃고 생명력 없는 숫자 놀음표로 전락하거나 경험 과학적 사회 진보의 규율 밖으로 서서히 밀려나 도태되고 말 것임.

# 인과관계와 인과모형

## 인과모형의 구조

### 인과모형의 한계: 인과적 불확실성과 과학적 태도




더불어 인과모형이 갖는 태생적 불완전성이나 가설의 잠정적 성격 등은 해당 모형 자체의 치명적인 결함이나 설계 오류의 방증이라기보다는, 복잡다단한 인간 세상을 계량하려는 사회과학 인과추론 분야 전체가 짊어지고 가야 할 눈물겨운 근본적 조건이자 훈장임.

- 결론적으로 가장 탁월하고 훌륭한 통계 기반 논문(연구)은 완벽한 인과적 정답을 속이듯 확언하는 글이 아님.
- 오히려 모형이 지닌 빈틈과 가정의 불확실성을 서론과 결론에서 대범하고 투명하게 세상에 낱낱이 드러내어, 글을 읽는 비판적 독자 스스로가 그 모형의 맹점과 현실 오차 적용의 불확실성 정도를 객관적이고 자유롭게 계량 판단할 수 있도록 사유의 공간을 활짝 열어주는 연구가 유의미한 과학적 성과로 남게 됨.

## 감사합니다!

궁금한 것이 있으면 언제든지 연락하세요.

강사 연락처

연락처	박상훈
	<a href="mailto:sh.park.poli@gmail.com">sh.park.poli@gmail.com</a>
	<a href="http://sanghoon-park.com/">sanghoon-park.com/</a>
	영상바이오관 405