제1부 실험과 실험실

1. 베이컨주의

   1) 통제된 실험을 이용한 관찰을 통한 참된 귀납을 강조. 단순한 관찰은 성급한 일반화의 오류

   2) 학술 활동에 있어서 공동의 노력을 강조 <-> 연금술사(자신들의 지식을 사사화)

   3) 연구에 대한 국가적인 지원이 중요함을 강조

2. 실험 공동체의 탄생

   1) 30년 전쟁 및 영국내전 이후 지식인들이 논쟁과 다툼으로 인해 참혹한 결과가 초래될 수 있다는 점에 공감하여 해결책을 모색하기 시작함

   2) 이 과정에서 철학자 홉스와 실험과학자 보일의 격론이 벌어짐.

   3) 홉스

      - 전적으로 연역적인 판단에 근거하여 논쟁의 여지가 전혀 없는 사실에만 기초하여 토론할 것을 제시(e.g. 기하학)

      - 개인주의의 억압

      - 실험과학자들의 기획을 불완전한 인간의 감각에 근거한 것으로 깎아내림. 그러나, 일면 당시의 조악한 실험 장치 등을 고려할 때 일리가 있는 주장이었음.

      - 실험실이라는 공간에 대해서도 자기들끼리만 쑥덕거리는 사적/위계적 공간으로 이해, 철학의 장이라면 공적이어야 하고 다수의 공민들이 참여해야 한다고 주장

   4) 보일 및 왕립학회 과학자들

      - 형이상학을 배척하고 오로지 과학적인 가설과 관찰 가능한 과학적 사실(귀납적)에 대해서만 토론할 것을 제시

      - 개인주의를 무조건 억압할 것이 아니라 예의를 갖추는 한에서 토론을 허용

      - 단, 정치/종교적인 분야에 대해서는 토론하지 않는 '실험실'이라는 공간을 제안

   5) 과학 연구나 그 지식이 대중에게 닫혀 있다는 홉스의 주장은 현재에도 시사하는 바가 있음.

"... 우리 사회는 민주적이라고들 하나, 공중은 자신들이 이해할 수 없는 대상을 향해 해명을 촉구할 수 없다. 원칙적으로는 가장 열린 지식 형식이 실제로는 가장 폐쇄된 것이 되었다." By Steven Shapin & Simon Schaffer

3. 실험과학의 탄생

   1) 실험과학의 탄생

      - 베이컨의 아리스토텔레스에 대한 비판: 경험으로 진리를 구하지 않고 경험을 오히려 자의적인 답에 끼워맞추려 한다.

      - 왕립학회 과학자들의 태도: 감각되지 않는 것은 마음에도 존재하지 않는다.

      - 새로운 세계를 발견할 때 기존의 체계에 끼워맞추는 것이 아니라 보고 겪은 대로 기술하고 정리하려는 노력: 자연주의

   2) 보편적 경험과 개별적 사실

      - 기존의 인식에 부합하지 않는 관찰이더라도 그 관찰된 사실은 그 자체로 중요하다! 그러나 그 경험은 어떤 특수한 경우에만 적용되는 것이 아니라, 자연의 일반적인 경향을 반영해야 한다.

      - 그렇다면 어떤 관찰된 사실을 어떻게 일반화하여 믿을 것인가: 직접 실험을 재연하여 해 보거나(직접 목격자) 과학자의 말을 신뢰하거나(가상 목격자).

      - 가상 목격자로서 그 관찰된 사실을 신뢰할 수 있도록 하기 위하여 전문가들의 증언이나 검토를 통해 신뢰도를 검증받는 전통 확립 → 오늘날의 peer review

4. 실험실의 탄생

   1) Laboratory: 라틴어 laborare 에서 유래(일하다, 노동하다 라는 뜻의 동사)

      - 원래 수도원의 작업장을 가리키는 말이었음(노역을 통해 원죄를 뉘우치는 장소) → 16세기: 연금술사/약제사/야금 기술자 작업장 → 17세기 후반: 오늘날과 비슷한 의미로 정착, 그러나 18세기 말까지도 연금술사의 공간이라는 개념이 강하게 남아서 주로 화학 실험실의 이미지가 강했고, 19세기 이후 물리/생물학 실험실이 자리잡은 후에야 실험실=화학실험실의 색채가 옅어짐.

   2) 실험실-종교의 접목

      - 간혹 비밀주의/이단으로 취급되는 경우가 있었으나 대체로 종교 측에서도 실험실

을 긍정적으로 바라봄

- 11세기 아랍에서 번역된 연금술 책: 신의 뜻이 담긴 피조물로서의 자연에 대한 이해가 조화를 이룰 수 있는 곳이라 언급
- 마르틴 루터: 심판의 날에 망자들이 부활할 때 필요한 알레고리와 비의를 파악하는 데 유용하다.
- 로버트 보일: 실험은 하나의 신성한 예배
- 신이 창조한 대우주에 대응하는 소우주로서의 실험

3) 실험실의 구성

- 당시에는 화학실험실이 실험실의 개념이었음 → 산/염기 반응, 가열 등 위험한 조작을 수행해야 했고 이를 위해 분리된 공간에서 통제가 필요: 실험실의 필요성
- 물리학 실험은 초기에 거의 실험실 없이 행해지다 실험의 정밀도가 높아지며 18세기 말부터 필요성이 점차 증가
- 실험실 내 복잡한 실험 과정을 소화하기 위해 '조수' 등 인력이 많이 필요하고 그 중요성이 시간이 지남에 따라 더욱 커짐(초기에는 이름없는 하인들이나 조수로만 기록됨)

4) 실험실의 전파

- 18세기 후반-19세기에 여러 대학을 중심으로 퍼져나가기 시작(주로 화학과)
- 점차 그 구조와 통제가 복잡해져 감.
- 실험실은 대중 실연을 통해 퍼포먼스를 보여 주기도 하고, 대중들에게 호기심/경외심을 불러일으키기도 했으며, 그 경계를 넘나들기도 했음. 점차 대중들이 실험실의 현실을 직시하기 어려워지기 시작함.

5. 실험자의 회귀

- 이론과 실험만으로 어떤 대상의 존재에 대한 문제를 해결할 수 있을까?
- 중력파 논쟁: 조지프 웨버라는 과학자가 1969년 중력파를 측정했다고 발표했는데, 중력파의 존재 자체가 논쟁의 대상이었기에 측정 데이터를 보고 이것이 중력파에 의한 것인지 다른 에너지에 의한 noise인지 구분이 어려움. 즉, 중력파가 존재하는가를 알기 위해 중력파 측정이 필요 → 그러나 아무도 측정 경험이 없어 올바

른 결과가 무엇인지 알 수 없음 → 다시 중력파를 측정 → 이런 논리의 순환을 실험자의 회귀라 함.

- 과학적인 요인만으로 새로운 존재에 대한 진리 여부를 정하기 어렵다. → 인식적/사회적 요인이 더해지게 됨. 중력파 논쟁도 결국 1975년 경 웨버의 실험이 틀렸다고 과학자들이 결론 내리게 되는데 아 과정에서 연구자의 이전 경력, 인간성, 국적, 소속 학교 등 과학적이지 않은 요소가 개입하는 양상을 보였음. 또한, 측정 기기의 calibration 과정에서 중력파의 긴 파장을 고려해야 한다는 웨버의 논리적 주장에도 불구하고, 과학자들 간에 합의된 단파장 calibration 방법을 사용해야 했음.
- 물론 이것으로 중력파의 존재가 부정된 것은 아니고 현재도 이를 찾기 위한 노력이 이뤄지고 있음.
- 골렘 과학: 적절한 제어를 가하지 않으면 흉포해지는 존재

6. 과학의 공간, 공간의 과학

- 공공성: 처음에 연금술의 전통에서 시작(위압감을 주며 비밀스러운 공간: 티코 브라헤의 우라니보르그) → 이를 비판하며 공공의 공간으로 재탄생(리바비우스의 화학의 집)

  ➔ 실험 공간을 은폐해서는 안 된다.

- 연극성: 실험실에서 확인한 사실이 보편적 사실로 인정받게 하기 위한 노력에서 출발. 발견된 사실을 이를 찾아내기 위해 수행한 악전고투에서 분리하여 잘 정제된 형태로 보여줘야 한다는 인식. → 실험의 실연/순회공연(e.g. 마이클 패러데이의 왕립연구소 실험 강연)
- 훈육성: 위의 연극성이 실험 기법/기구에 대한 관심을 발견된 사실, 자연 현상 자체로 돌리고자 하는 쪽으로 발전(자연을 '있는 그대로' 바라보라). → 실험실의 깊은 곳으로 들어갈수록 고급 실험이 가능하고 고급 연구자만이 들어갈 수 있는 공간으로 배치
- 생산성: 실험실은 20세기부터 교육과 무관한 기업, 군부, 정부의 네트워크로도 들어가기 시작.

  # 홈델연구소: 순수연구->응용연구->기업의 혁신으로 이어질 것이라는 선형 혁신 모델에 기초하여 기업에서 멀리 떨어진 곳에 대학처럼 지어졌으나, 물리적 거리로

인해 피드백이 되지 않고 내부에서도 소통이 되지 않아 실패.

과학연구의 방법론을 산업/노동 현장에 적용하기 시작

7. 실험실이라는 사회, 사회라는 실험실

1) 리비히(독일 기센, 19세기 중반 나폴레옹 전쟁 후)의 실험실 혁신

- 협동 연구 체제의 도입
- 실습의 강도를 높임
- 미해결 과제를 가장 노련한 실습생들에게 부여 → 이미 밝혀진 사실을 반복하며 배워 가던 방식과 차별화 → 큰 과제를 잘게 쪼개어 연구하고 다시 통합하는 방식으로 협동 연구 체제에도 긍정적 영향
- 헨리 마틴: 극소수의 천재보다는 다수의 보통 수준 과학자가 여러 분야를 하나의 실험실에 모여 연구하는 것을 이상적으로 생각
- 롤런드: 가장 중요한 것은 부수적으로 창출되는 결과가 아니라 실험실 교육을 통한 "과학적 정신(scientific mind)".
- 이러한 풍조가 미국에서 대니얼 길먼에 의해 실현되어 존스 홉킨스 대학을 거대한 하나의 실험실처럼 만들게 됨.: 이는 단순히 연구를 잘 하기 위한 목적이 아니라 남북전쟁 이후 고등교육계를 개혁하기 위한 일환으로서 기획 추진된 것임.

2) 실험실이라는 사회적 문제

- 기술의 발전과 실험실의 발전이 궤를 같이 함에 따라 실험실-산업계와의 관계, 실험실 내 인간관계, 인간-기술의 관계, 심지어 인간-동물의 관계가 문제가 되기 시작.
- 실험실의 질서가 사회로 뻗어나가기도 하나, 사회적인 문제가 실험실 내의 사회로 들어오기도 함(인종/성별 차별 등).

8. 동물실험

1) 고대 그리스 시대의 해부 실험이 기원

2) 1860년대 클로드 베르나르: 특정한 물질이 인체에 미치는 영향은 정도의 차이만 있을 뿐이지 동물에 대한 영향과 동일하므로 독성학/위생학 연구에 동물 이용이 가능하다 주장 -> 아이러니하게도 클로드 베르나르의 조수와 가족들은 반대 입장. 그의 부인은

프랑스 최초로 동물생체실험반대협회 설립

3) 갈색 개 사건(brown dog affair): 1900년대 초 런던에서 심리학 연구를 위한 동물 실험을 두고 갈색 개를 사용한 데 대한 합법성을 두고 의대생-생체해부 반대자들 간 논쟁이 벌어지고, 반대자들이 갈색 개 동상을 세움: 대중적으로 이 문제가 널리 알려진 계기

4) 서양은 전통적으로 동물의 권리를 인간에 비해 낮게 평가 → 동물행동학 연구를 통해 동물들도 지능이나 문화가 있다고 밝혀짐에 따라 사람과 동물이 다르지 않다는 인식이 생김

5) 공리주의: 통증과 고통은 그 자체로 나쁜 것. 인종/성별/동물에 관계없이 최소한으로 유지되어야 한다. 그러나 동물실험 자체를 부정하지는 않고 종 전체의 복지의 감소를 문제삼음. 따라서 복지를 증진할 수 있는 일부 동물실험에 대해 허용하는 입장.

6) Tom Regan 등: 동물에게는 실험에 이용되지 않을 권리가 있고, 개체로서의 가치와 동물권을 지니는 대상은 그 어떤 실험에도 이용되어서는 안 된다.

7) 동물실험이 가치가 없다는 주장도 있음

   - 인간의 질병 3만 가지 중 1.16%만을 동물과 공유함.
   - 동물실험에서 새로운 약물이 사용되는 방법과 실제 인체에 투여되는 방식이 다름.
   - 클리오퀴놀, 페니실린 등 동물과 사람에서 완전히 다른 효과를 나타내는 약물이 존재
   - 환자 관찰, 사체 연구, 세포/조직 실험, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 대체가 가능

8) 전 세계적으로도 불필요한 동물의 희생은 줄여가는 추세

   - 예: Draize test (화학 성분의 자극성을 평가하기 위해 토끼 눈 점막에 투여), LD50(동물의 50%가 죽는 용량) 평가 등
   - 화장품 개발에 동물 실험 금지하는 법안 발효
   - Cruelty-free 화장품(동물 실험을 거치지 않은 화장품)
   - 학계의 입장: 3R (replacement: 비동물 실험으로 대체, reduction: 동물 수 감소, refinement: 마취 등을 통해 고통을 완화)

제2부 과학자, 과학 방법론, 과학 지식

1. 과학자 데카르트

    1) 합리주의, 엄격한 심신이원론, 방법론적 회의

    2) 인간의 몸의 작동 원리를 설명하기 위해 해부 연구, 송과선(pineal gland)이 신체와 정신의 접점이라 주장

    3) 학문을 시작할 때 30년 전쟁이 지나가고 어떠한 것도 확실한 것이 없다는 회의론적 사조가 휩쓸던 시기였음. 이 때 확실한 불변의 진리를 찾고자 노력.

    4) [세계, 혹은 빛에 대한 논고]

        - 자연에도 법칙이 존재한다는 점을 설득력 있게 주장

        - 감각으로 경험하는 것과 본질이 엄청나게 다를 수 있음을 보여줌.

    5) [기하학]

        - 엄격히 구분되어 있던 기하학과 대수학을 통일 → 서양 수학의 혁명

2. 생리학자 데카르트

    1) 심신이원론

        - 의심의 여지가 없는 존재: "생각하기에 존재하는 나(Cogito, ergo sum)"

        - 외부 세상: 연장(공간을 점유함을 의미)을 가진 실체: 공간을 점유하고 운동을 함(태초에 신이 부여한 운동이 관성의 법칙에 의해 유지)

        - 물질은 철저하게 수동적이고 죽은 것. 동물은 인간과 달리 영혼이 없으므로 복잡한 기계에 불과. → 동물의 고통을 무시(동물의 비명은 시계를 밟을 때 기계가 내는 파열음에 불과)

        - 하비의 혈액 순환론을 받아들여 인간이 섭취한 음식물은 위에서 소화되고 간에서 피로 바뀌어 송과선으로 와 신경을 통해 말단으로 분출된다고 믿음. 영혼이 송과선을 약간 움직임으로써 신체의 큰 움직임이 가능.

        - 그러나 영혼이 어떻게 물질적인 송과선에 움직임을 가하는지 원리에 대해 명확한 설명을 하지 못함.

2) 비판

- 동물도 생각과 감정이 있음.
- 영혼과 육체가 완벽히 분리될 수 있는 것이 아니다.
- 포스트모더니즘 시기에는 데카르트 이원론이 근대의 모든 폐해의 근원인 것처럼 도 여겨짐.

3. 갈릴레오와 후원

1) 과학자의 생계

- 과학자들이 월급을 받으면서 일할 수 있는 직장은 주로 19세기 중엽 이후 증가함.
- 이전에는 두 부류: 생계 걱정이 없는 귀족이 과학을 연구하거나(로버트 보일) 왕/귀족의 후원을 받는 과학자가 과학을 연구(케플러, 브라헤, 갈릴레이)

2) 시데레우스 눈치우스(별의 소식/별의 메신저라는 뜻): 갈릴레이 저작으로 이전의 우주관을 비판하고 새로운 사실들을 제시(달의 분화구, 목성의 위성의 존재 등)

- 새로 발견한 목성의 위성들에 메디치 가문의 이름을 붙임(코시모 1세의 천궁도와 목성의 관련성을 이용하여 메디치 가문과의 인연을 만듦)
- 새롭게 발견한 과학적 사실들에 대해 메디치 가문의 덕분이라는 찬사를 장황하게 기술.
- 이 책을 통해 갈릴레이는 파두아 대학 교수직을 버리고 메디치 가문의 수학자 겸 철학자로 임명됨 → 당시는 수학과 철학을 엄격히 구분하여 수학은 단지 세상의 운동을 설명하는 가설이나 모델 정도로만 취급되었으나 가장 막강한 후원자인 메디치 가문이 갈릴레이를 후원하게 되고 수학자 겸 철학자로 임명되자, 갈릴레이의 수학적 이론을 무시할 수 없게 되고 그의 한 마디 한 마디가 세상의 주목을 받기 시작함.

4. 과학과 법

1) 법이 과학에 미친 영향

- 과학자들이 자연의 '법칙'을 논하기 시작: "입법자로서의 신"
- 법정에서 사용되던 '사실'이라는 개념이 실험실에 도입: 아리스토텔레스주의자들은 실험이 세상의 사실과 연결될 수 없다고 하였지만 베이컨을 거치면서 진리를 밝

히는 데 있어 실험적 사실이 근거되어야 한다는 믿음이 자리잡음.

2) 과학이 법에 미친 영향

- 과학은 17세기 과학 혁명이 완성되면서 개연성보다 확실성을 추구하는 학문이 됨.
- 로크: 확실한 지식이 되려면 "관찰의 확실성, 경험(혹은 실험)의 빈도와 일관성, 증인의 수와 신뢰성"을 기반으로 해야 함.
- 뉴턴 이후 수학적 확실성, 물리적 확실성을 구분하여 인식하였는데 법률가들이 이를 받아들여 "도덕적 확실성" 개념을 제창(현재 우리나라 형사소송법에서 "합리적인 의심이 없는 정도의 증명"이라는 개념으로 남아 있음).

5. 백과전서

1) 백과전서(Encyclopedie)

- 21년에 걸쳐 완간(본문 14권, 도해 11권)
- 무신론적이고 혁명적인 성격 때문에 종교 당국의 탄압을 받음.
- 단순히 지식을 정리하는 것만 아니라 사람들의 생각을 변화시키는 것이 목적
- 인간의 지적 능력을 기억, 이성, 상상력으로 나누고 모든 학문을 이에 맞추어 분류함.

2) 백과전서의 표지 그림

- 이성과 과학에 대한 높은 평가, 신학에 대한 비판, 진보에 대한 믿음을 뮤즈의 행동과 위치로 비유하고 있음.

6. 과학적 발견

1) 피터 메더워(Peter Medawar): 1960 노벨 생리의학상 수상자

- "과학 논문은 과학적 발견을 일구어내는 사유 과정을 완전히 오해하게 하므로 일종의 조작이다."
- 논문의 정해진 형식 서론-선행연구-방법론-결과-토론의 흐름은 마치 선행연구를 귀납적으로 검토하고 실험 결과를 얻으면 자연스럽게 이론이 도출되는 것처럼 그릇된 인상을 준다고 주장.
- 실제의 연구는 가설이 어렴풋하게 제시되고 실제 연구를 진행하면서 바뀌거나 폐

기되기도 하며, 연구 막바지에야 명확해지기도 함.

- 그가 보기에 과학이란, 과학자의 영감을 통한 창의적인 활동과 엄밀하게 가설을 검사하는 비판적 과정으로 이루어지나, 현행 논문들의 귀납과정은 창의적 과정을 설명하기엔 단순하고, 비판적 과정을 설명하기엔 느슨함.

2) 윌리엄 휴얼(William Whewell, 1794-1866)

- 많은 사람이 사과의 낙하를 목격했으나 뉴턴만이 만유인력을 발견

- 참된 귀납이란 여러 사실을 단순히 종합하여 결론을 내리는 것이 아니라, 어떤 사실을 정제된 개념으로 뽑아낼 때 발생.

- 과학사의 진보란 더 많은 사실들이 더 적은 포괄적인 개념으로 수렴해 가는 것.

- 엘리트주의적 과학관: 새롭고 경이로운 개념의 발견(진정한 귀납)은 천재 과학자들의 것이고, 평범한 과학자들이 이 이론이 그를 발견한 과학자와 함께 그냥 사라지지 않도록 평범한 정리, 계산 등을 통해 보존시키는 역할을 함.

3) 어빙 랭뮤어(Irving Langmuir, 1881-1957)

- 1951년 뜻밖의 행운(serendipity)라는 개념을 과학적 발견의 영역으로 끌어들임.

- 과학적 발견은 불확실성과, 뜻밖의 행운 같은 요소가 항상 자리잡고 있어 완전 통제는 불가능하며, 인위적인 조절이 가능한 것은 그런 발견이 효율적으로 이뤄지도록, 또 그렇게 발견한 사실을 더 잘 이용할 수 있도록 환경을 조성하는 것이라 주장함.

7. 패러다임

1) 토머스 쿤(1922-1996)이 저서 [과학혁명의 구조](1962)에서 도입한 개념

- 두 가지 특성: 전문 과학자 집단을 끌어들일 만큼 신선하고 전례가 없으며, 이렇게 구성된 전문가 집단에게 풀 문제를 던져 줄 만큼 열려 있음.

- 어떤 과학자가 패러다임을 제시하고 많은 과학자들이 이를 수용하면 과학은 정상과학(normal science)의 시기에 진입함.

- 쿤의 주장에 따르면, 정상과학은 혁신적 활동이 아니라 패러다임의 틀 안에서 이를 완벽화하고 측정 수치를 정교화하는 보수적인 과정, 어떤 가설이 패러다임에 맞지 않으면 무시됨. 따라서 과학자들의 연구는 잘 반박되지 않는 패러다임을 뒤

집기 위한 것이 아니라 패러다임에 잘 맞지 않는 변칙적인 현상을 패러다임에 맞추기 위한 활동.

- 카를 포퍼의 입장과 반대로 포퍼의 입장은 과학은 과감한 가설을 던지고 이를 반증하기 위한 논박이 이어지는 상태로, 반증가능성(falsifiability)이 과학과 비과학을 구별하는 것.

2) 패러다임과 과학혁명

- 신구 패러다임이 경쟁할 때 보통 과학자들은 구 패러다임을 따르는 경우가 많음: 더 안정적, 여러 문제들을 더 잘 설명.

- 신 패러다임을 따르는 과학자들은 실험적 증거에 의해서라기보다 미적 단순함, 아름다움과 같은 과학 외적인 요소에 끌리는 "심리적 형태 전환" 또는 "개종"과 비슷한 과정임.

- 신구 패러다임의 차이: 총체적이며 공약 불가능(incommensurability). 그러므로 쿤에 따르면 과학의 발전은 패러다임->패러다임으로 건너뛰는 형태

- 쿤이 보기에 과학혁명은 궁극적 진리를 향해 끊임없이 나아가는 것이 아니라, 그 때 그 때 생존을 위해 적응하듯이 "진화"하는 것. 즉 진보가 아니다.

8. 객관성의 역사

1) 현재의 실험실은 다양한 실험 기기들로 가득 차 있음: '기계적으로' 생산된 데이터를 객관적이라고 여김.

2) 객관성 이전의 과학

- 18세기의 과학 도판을 보면, 특정 개체를 보고 그리는 것이 아니라, 여러 개체를 보고 가장 대표적인 특성을 찾아내어 묘사함.

- 이를 위해 과학자/예술가 사이에 대립이 일어나기도 함: 과학자는 보편적인 모습을 담으려고 하고 예술가는 보이는 대로 그리려고 하므로. 당시 과학자들에게 이미지에 조작을 가하고 규칙/법칙을 드러내고자 이상화하는 것은 과학자로서 응당 해야 할 일이었음.

3) 기계적 객관성의 출현

- 1850년대를 전후하여 이미지에 조작을 가하는 행위에 비판이 가해지기 시작

- 그간 얻어진 규칙성/대칭성이 자연에 존재하는 것이 아니라 인간이 인위적인 조작을 통해 만든 것이라고 이해됨.

- 미학, 매력적인 이론, 도식화, 단순화에 빠지지 않은 기계적인 객관성을 강조: 엄격한 프로토콜에 의해 각 개체에 대한 이미지를 자동 생산하도록.

4) 20세기 이후

- 기계적 객관성의 한계를 인식

- 개별적 이미지가 종 전체의 특성이나 종 간의 차이를 드러내기가 어렵다는 점.

- 인상학적 통찰력(physiognomic sight)을 통해 기계에서 얻은 데이터를 주관적으로 해석하는 능력이 필요(훈련된 판단력).

- 더 이상 이미지는 자연에 존재하는 그대로를 보여주는 것이 아니라, 특정 도구에 의해 성취될 수 있는 것을 보여주는 것이 됨.

9. 현상을 구제하기

1) 현상을 구제한다

- 자연현상의 원인을 규명하려 하지 않고 눈에 보이는 현상만을 설명하려 하는 것을 일컬으며, 처음 이 말을 한 사람은 플라톤

- 행성의 역행운동을 둘러싼 고대 그리스, 아랍, 코페르니쿠스, 뉴턴에 이르기까지의 이론의 변화에서 코페르니쿠스가 지구가 아닌 태양을 중심에 놓음으로써 단순히 보여지는 현상에 대한 계산이 아닌, 그 뒤에 숨겨진 진짜 진실을 밝혀내는 것과 대비됨.

- 이런 현상 뒤에 숨겨진 실재, 참된 원인을 찾아내는 것이 참된 과학이라는 인식이 자리잡음.

2) 피에르 뒤앙(1861-1916)

- 확실하게 참이기 위해서는 같은 현상을 다른 방식으로는 설명할 수 없음을 증명해야 하는데, 이것이 불가능하다고 주장

- 1950년대에 윌러드 콰인에 의해 계승되어 이 문제 제기는 뒤앙-콰인 명제 또는 뒤앙-콰인 미결정성 명제로 불림("이론이나 가설의 참과 거짓은 증거에 의해 결정될 수 없다").

- 콰인: 과학의 경우 개별 이론이나 가설이 반박되는 것이 아니라 가설과 이론의 총체적 체계가 논박될 수 있다고 주장함.

- 토머스 쿤의 패러다임에도 지대한 영향을 끼침.

10. 암묵지

1) 지식에는 두 가지 종류가 존재

- 형식지(explicit knowledge): 언어로 표현 가능

- 암묵지(tacit knowledge): 언어로 표현할 수 없이 실행으로 체득되는 지식

- 암묵지는 마이클 폴라니(1891-1976, 헝가리 출신 물리화학자/철학자)에 의해 처음으로 만들어진 개념

2) 공동화->표출화->연결화->내면화를 통해 암묵지가 전수되며, 과학기술의 발전에서 암묵지가 그대로 암묵지로 남기도 함

11. 과학자의 창의성

1) 과학 분야에서의 창의성

- 사회적, 분야의존적

- 서양사에서 창의성은 원래 예술에서 나타난 개념(영감, 뮤즈). 창의성=영감=예술=비합리적 이라는 개념이 일반적이다가 19세기 후반에 들어서야 과학도 창의적 활동임을 주장하기 시작

- 그러나 과학적 창의성이 순간적인 깨달음으로부터 얻어지는 재능으로 생각되어서는 안 되며, 오히려 복잡하고 단계적/연속적인 과정이고 연구 과정에서 부딪히는 어려움을 극복하기 위한 끊임없는 노력의 산물임을 이해해야 함.

2) 연구 조직의 창의성

- 창의적인 인간/팀이 따로 있는 게 아니라 창의성을 북돋아 주는 요인들이 잘 결합됐을 때 창의성이 극대화되는 것.

- 구조적 특성, 문화적 특성(구심성, 다양성, 자율성), 과정적 특성(커뮤니케이션 구조, 문제 해결 및 갈등 관리 방법)의 복잡한 상호 작용에 의해 결정

제3부 현대 과학의 쟁점들 1

1. 루핑 효과

   1) 루핑 효과:

      - 이언 해킹(Ian Hacking)이 주장한 것으로, 자연과학과 달리 인간과학(human science)에서는 대상인 인간과 그 지식 사이에 중대한 상호작용이 일어나며 이를 인간 종의 루핑 효과(the looping effect of human kinds)라고 명명.

      - 인간과학에서 이전에 없었던 인간에 대한 새로운 범주(종)이 만들어지면 그 범주에 해당하는 사람들이 만들어지고, 이렇게 만들어진 사람들은 다시 해당 과학 지식을 정당화하거나 변화시킴.

      - 예) 자폐아라는 범주가 없다가 만들어지면 → 가족들이 그 아이를 자폐아라는 특정한 인간 유형으로 간주하고 대하기 시작, 자폐아로 규정된 아이도 자의식이 있기 때문에 이를 수용하거나 거부하기도 함 → 사회적으로 사람들의 인식, 행동, 사회 제도 등에 변화

        한편으로는 냉장고 엄마 이론(엄마-자녀 간 애착이 부족해 자폐가 발생한다는 이론)이 대두되면 이에 맞추어 부모들이 더욱 자폐아들에게 애착을 갖게 되고, 자폐아 부모 그룹의 특성이 달라짐.

      - 또한 인간과학은 도덕적 가치가 적재된 지식임. 만약 어떤 사람이 아동학대자라고 분류된다면 그에 대한 주변의 인식과 행동이 크게 달라질 것임.

   2) 자연 과학의 연구 대상인 자연은 분류나 개념이 대상의 특성에 영향을 미치지 않음.

      - 예) 세균을 다르게 분류한다고 그 세균의 특성이 변하지 않음.

      - 인간과학과 매우 대비되는 지점.

2. 생명과학과 인종

   1) 인종적 차이에 대한 학술적 논의: 18세기에 만개함.

      - 블루멘바흐: 백인(Caucasian)/흑인(Negro)/황인(Mongolian)

   2) 19세기 중반 이후: 인종이 과학적 연구의 대상으로 자리잡음.

      - 론더 시빈저에 따르면, 19세기 초 인종과학 연구자들이 백인 남성의 우수함을 보

여주기 위해 인종과 성별을 기준으로 하여 백인 남성이 가장 위에 있고 아래 흑인 남성/백인 여성 그 아래에 흑인 여성 이런 식의 인종 피라미드를 만들었음.

3) 19세기 말-20세기 초 우생학

- 사회진화론적 관점의 확산(by 허버트 스펜서)
- 적자 생존, 우수한 인종만이 살아남을 수 있다.
- 우수한 인종이 열등한 인종을 지배할 수 있다.

4) 20세기 중반 이후 통계적 인종 개념

- 1950년 유네스코 성명, 2003년 인간 유전체 프로젝트의 염기 서열 최종 분석 결과: 유형학적으로 인종을 분류할 수 없다.
- 건강 문제를 비롯한 상대적인 차이를 보여 줄 수 있는 통계적인 개념으로 이해되기 시작(예: 특정 질병에 대한 유전적 취약성 등)

5) 통계적 인종 개념의 한계

- 종종 과학자들이 인종을 분류할 때 과학적 접근이 아니라 역사적/사회적 관점에서 접근
- 현재까지도 인종이 연구의 분류 개념으로 적절한가에 대한 논쟁은 진행 중

3. 유전체학 시대의 인간 다양성

1) 인간 유전체 다양성 프로젝트(HGDP, human genomic diversity project)

- 1990년대 인간 유전체 프로젝트가 발족한 뒤 이에 대한 윌슨과 카발리-스포르차 등 집단유전학자들의 비판을 통해 발족(사람 1명을 분석하면 마치 인간 전체의 유전체를 파악할 수 있는 것처럼 여기고 있다고 비판)
- 1997년부터 미 연방정부의 지원을 받아 본격적인 연구를 시작
- 인종 구별에 기초하여 분석하지 않고 지리적인 요건을 반영하여 특정 언어집단에 근거한 52개 토착 집단의 유전체를 분석
- 지리적 구분에 근거한 SNP 연구 등이 이뤄지면서 인종이 아닌 지리적 구분에 의한 인간 다양성에 대한 접근의 단초를 마련

2) 생물 지리적 조상

- 2002년 인간 유전체 프로젝트의 초안이 발표: 인간의 유전체는 99.9% 동일, 0.1% 만이 차이를 보임.
- 이 0.1%의 차이로 인해 질병 취약성, 특정 약물에 대한 유전적 감수성이 발생하므로 맞춤의학이 필요하다는 주장이 대두됨.
- 조상정보표지자(Ancestry Informative Markers, AIMs): allele frequency를 평가하여 생물지리적 조상의 혼합 정도를 평가할 수 있는 기술 → 인종이 아니라 어느 지역 출신 조상의 비율이 얼마나 되는지를 중립적으로 평가하는 것임.
- 그러나 과학자들은 여전히 인종이라는 표현을 사용하고, 실제 과학에서 전통적인 인종이란 개념은 쓰지 않게 되면서 '언어의 미끄러짐'이 발생하는데 이에는 아래의 요인들이 있음
    - i) 생의학 연구와 인간 유전 다양성 연구의 흐릿한 경계: 유전자 분석을 통한 인간 집단 구분과 기존의 인종/언어/이름 등 자의적인 구분 개념이 혼재되어 사용됨.
    - ii) 인간 유전 다양성 연구의 상업화: 상업적으로 이용되면서 기존의 인종 구분을 과학적인 방법으로 해 주는 것처럼 홍보됨.
    - iii) 인종/종족 개념의 오용: 심지어 반인종주의 과학자들조차 생물학적 구분인 인종과 문화적 구분인 종족을 잘못 사용할 정도로 혼용되고 있음.
    - iv) 역사적 내러티브 사용의 비가시화: 아시아/카스피해 연안 남성들의 Y염색체 분석을 통해 이들이 칭기즈칸의 후손이라 결론 내린 연구에서는 마치 유전체 분석을 통해 이를 밝혀낸 것처럼 기술하고 있지만 실제로는 이 유전체 변이의 발생 가능 시간대는 600년의 격차가 있고 역사적 내러티브를 차용해 칭기즈칸의 후손이라고 결론 내린 것일 뿐이었음. 이와 같이 역사적 내러티브가 사용될 때 이를 명확히 밝하지 않음.
- 사려 깊은 인간 다양성 연구 '하기'와 '읽기'가 필요: 단순히 인간 다양성 연구를 인종주의로만 치부할 것은 아님. 오히려 이를 인종주의의 발현으로 무시하던 인문학자들의 시각은 이것이 언어의 미끄러짐으로 흐르는 것을 간과하는 효과를 낳았음.

4. 맞춤의학

1) 맞춤의학

- 집단에 따라 다양하게 정의: 유전학자(유전체 변이에 의한 차이에 따라 치료), 한의학(사상체질 등)
- 공통적으로 동의하는 지점: 기존의 근대 의학에서는 개인의 차이를 고려하지 않고 보편주의적인 접근을 통한 획일적 치료를 취했으나 맞춤의학은 이를 지양

2) 개별성 대 보편성

- 근대의학이 특정 인종, 성별(e.g. 미국 백인 남성)에 대해서만 의학 연구가 이뤄졌다는 비판이 있음.
- 그러나 실제 근대 의학의 역사는 개별성 대 보편성의 끊임없는 투쟁으로 점철됨:
- 19세기 중반까지는 환자가 사는 환경, 물리/사회적 특수성을 핵심 테제로 삼음, 19세기 말부터 '세균'이라는 공통 요인에 의해 질병이 발생함을 주장하고, 페니실린이 상용화되면서 보편주의적 접근이 힘을 얻음.
- 그러나 그 와중에도 늘 환자의 개인적 특수성을 고려해야 한다는 주장 및 연구는 진행되었으며 1950년대 이후 약물 저항에 대한 개인의 유전학적 차이를 고려하는 약물유전학으로 이어짐.
- 실제 의사들의 임상 진료는 보편성과 개별성을 다 아우르는 방식으로 진행됨.

3) 왜 지금 맞춤의학인가?

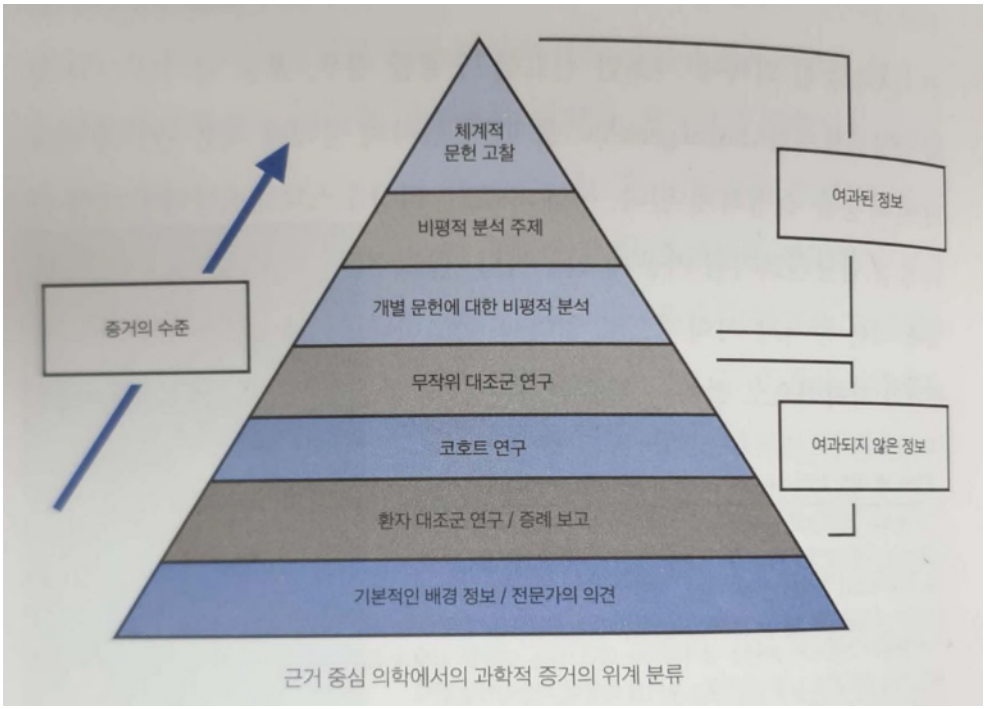
- 위의 역사적 흐름을 생각해 보면 맞춤의학이 완전히 새로운 것은 아님. 그런데 왜 지금 화제가 되는가?
- Adam Hedgecoe: 프로젝트의 후원을 얻기 위해 등장한 수사
- Catharine Walby, Robert Mitchell: 개인 유전체 프로젝트는 유전체 연구뿐만 아니라, 개개인의 개인 정보에 대한 광범위한 수집이 필요하므로 이들의 동의가 중요. 이들이 자발적으로 동의하고 후원할 수 있도록 부추기는 데 동원된 개념임.

5. 근거 중심 의학

1) 정의: 의사들의 단편적인 임상적 개인 경험에 의한 것이 아닌, 확고한 과학적 증거에 기초한 의학적 의사 결정

2) 이전부터 논의가 되었음에도 불구하고 1980년대 말에서야 사회적 물질적 여건이 갖춰지면서 본격적으로 등장(Archie Cochrane: 현대 근거 중심 의학의 아버지)

3) 증거 수준의 위계적 분류



근거 중심 의학에서의 과학적 증거의 위계 분류

4) 근거 중심 의학에 대한 비판

- 객관성 문제: 과학적 근거가 객관적이냐는 판단은 peer review에 의해 결정되는데, 이는 과학적 증거의 객관성뿐만 아니라 사회적 측면이 개입, 연구 예산과 관련된 문제, bias 문제

- 일반화 문제: 특정 환자의 개별적 특수성을 반영하지 못하며, 특이한 증례 보고 등이 증거 수준의 위계가 낮은 것으로 간주되는 문제.

5) 진료 지침 등 과학적 근거에 의거하여 의료를 행하면서도, 환자가 처한 상황 등을 고려하여 독자적인 판단이 가능하도록 의료 전문가의 정체성을 재정의할 필요가 있음.

6. 뇌과학과 법

1) 뇌과학의 발달(특히 뇌 영상기법)로 뇌기능과 정신에 대한 평가가 가능해지면서 생겨나는 법적/윤리적 쟁점들을 고민할 필요가 발생('신경윤리학')

2) 특히 인간의 자유의지를 법적 처벌의 근거로 삼아 온 법 영역에서 큰 이슈: 미국에서는 2006년을 기준으로 PET, SPECT를 법적 근거로 제출한 경우가 160건에 달함(정신이상 항변이나 무죄를 주장). 찬반 논쟁이 있음.

- 뇌과학자들도 뇌 영상기법의 한계를 인정하고 있고, 뇌과학 연구들이 인간의 법적

책임을 약화시켜서는 안 된다는 주장도 나오고 있는 상황임.

e.g. Stephen Morse: "뇌가 범죄를 저지르는 것이 아니라 사람이 범죄를 저지른다.

- 그럼에도 불구하고, 법정에서 뇌 영상이 사용되는 것을 막을 순 없다.

→ 일반적 지식이나 추측보다 정확하다면 증거로 쓰이지 않을 이유가 없다.

3) 과학을 법이나 사회와 무관하게 중립적 판단을 내리는 주체로 바라보아서는 안 되며, 오히려 법/사회와 과학은 굉장히 복잡하게 얽혀 있고 서로 상호 작용을 주고 받는 관계임을 기억해야 함.

7. 생명가치

1) 생명가치(biovalue): 인체유래물들이 생명공학적 개입을 통해 가치를 지닌 자원이 되게 하는 것(e.g. 조직 검사 후 남은 조직, 여성의 난자, 암 조직 등)

2) 사용되고 난 인체유래물에 대한 상반된 입장: 폐기물로서의 성격을 강조하거나, 그것의 연구에의 활용성 등을 강조하는 입장이 있음.

3) 그러나, 이런 인체유래물이 개발도상국/후진국 등에서 더 불평등하게 강제되는 경향이 있음을 주목해야 함. 캐서린 왈비는 실제로 인체 유래물이 상업적으로 '거래'되고 있음을 지적하고, 실질적으로 피험자들이 임상 시험에 참여하여 '노동'을 통한 '임금'을 받고 있다고 주장하며, 이를 추상적인 연구 윤리에 기대어 해결할 것이 아니라 임상 노동으로 인식하고 인준하여야 한다고도 주장.

제4부 현대 과학의 쟁점들 2

1. 탈정상과학(Post-normal science)

1) 탈정상과학

- 토머스 쿤의 정상과학을 불확실하고 논쟁적인 영역으로 확장한 개념으로 제롬 라베츠, 펀토위츠 등이 1992년에 제안.

- 사실이 불확실, 가치가 논쟁의 대상, 파급력은 크지만 동시에 신속한 결정이 이루어져야 하는 주제를 다루는 과학(e.g., GMO, 기후변화, 원자력 발전...)

- 과학자 공동체가 아닌 해당 이해 집단과 시민을 포함하는 확장된 공동체

(extended community)가 참여해야 하고, 과학적 사실이 관련 시민과 주민의 경험과 역사를 포함하는 확장된 사실(extended fact)로 확대됨.

- 인식적 불확실성(epistemological uncertainty)가 기존의 과학에 비해 새롭게 추가됨(기존 과학은 기술적, 방법론적 불확실성).

2) 제롬 라베츠

- 산업화된 과학에 대해 비판적이었으나 정부의 통제를 가하는 것은 옳지 않다고 주장, 비판과학(critical science)를 제안 → 자연의 일부로서 인간의 안녕을 최우선으로 생각하고 인간의 고통에 공감하는 과학, 산업화된 과학의 문제와 폐해를 극복하도록 도와줄 것이라 여김.

- 1970년대부터 존 자이먼과 함께 과학과 사회 회의(Council for Science and Society)를 조직해 과학-사회 상호작용을 연구

- 1980년대 펀토위츠를 만나 과학의 불확실성에 대한 연구를 시작, NUSAP (Numerical, Unit, Spread, Assessment, Pedigree)라는 위험 평가 틀을 창안.

3) 윈(B. Wynne)

- 탈정상과학의 인식론적 불확실성, 무지를 비판.

- 불확실성을 4가지로 정리: 확률을 알 경우에 생기는 위험, 주요 시스템 변수들은 알지만 그 확률을 알지 못하는 불확실성, 알지 못한다는 것을 알지 못할 때 일어나는 무지, 과학적 지식 자체에 늘 존재하는, 과학적 논리만으로 해결되지 않는 미결정성

4) 기본스(M. Gibbons)

- 과학 연구가 mode 1 에서 mode 2 로 바뀌었다고 주장

- 이에 따라 과학 연구가 이해 관계를 갖는 다양한 집단의 협상 속에서 진행되어야 하고 동료 뿐만 아니라 사회 전체에 책임을 져야 하며 연구의 질도 학문적 우수성만이 아닌 사회적 적절성 등의 맥락 속에서 시시각각 평가되어야 함.

2. 과학 논쟁

1) 2011.3월 후쿠시마 원전 사고 이후 일본과 한국에서 격렬한 논쟁이 벌어짐

- 일본: 안전기준치를 연간 20 mSv로 상향 조정함에 따라 이 기준의 안전성에 대한

논란

- 한국: 한국으로의 방사선 유입은 극미량이라 안전하다는 정부의 발표에 대한 논란
- 이 논쟁은 과학-비과학, 상식-비상식의 대결이 아니라 양측 모두 과학적 근거를 기반으로 하고 있는 전문가들 간의 논쟁임.

2) 1950년대 비키니 환초 핵실험 낙진 피폭 논쟁

- 1954.03.01 이루어진 캐슬 브라보 핵실험(태평양 연안 비키니 환초)의 폭파 범위가 예상보다 2배 넓어 150킬로미터 가량 떨어진 곳에서 조업하던 23명의 일본 어민들을 포함한 300명 가량이 방사능 낙진에 피폭
- 미국 원자력위원회 위원장 Lewis Strauss: 낙진 피해자들은 금세 회복되었고 북미 지역에 미치게 될 영향도 미미하다고 주장. 생쥐 실험의 데이터를 그대로 인간에게 적용하기는 어렵다(주로 의사들). 이후 병리학자들도 일정 역치 이하는 안전하다고 주장.
- 캘리포니아 공대 유전학자 Alfred Henry Sturtevant: 피폭자와 그 후손들에게 유전적인 영향을 끼칠 것이 분명하다고 주장. 생쥐 실험에서 나온 데이터를 그대로 적용할 수 있음을 믿음.

3) 1970년대 저선량 방사선 위험 논쟁

- 1969 John Gofman, Arthur Tamplin (Lawrence Radiation Laboratory): 미국의 방사선량 기준치만큼 미국 전체 인구가 노출된다면 매년 16000-32000명의 백혈병/암 환자가 추가로 발생할 것이라 주장. → 미 원자력위원회에서는 근거가 없다고 기각. → 둘의 주장은 계속되어 1972년 BEIR 보고서에서는 LNT model을 거부할 근거가 없다는 내용이 포함됨.
- 미 원자력위원회와 고프만/탬플린의 주장은 모두 같은 데이터를 기반으로 하였으나 이를 해석하는 데 있어 차이가 보임. 미 원자력위원회는 hot lung 가설(흡입된 플루토늄 이 폐 전체에 골고루 분포), 고프만/탬플린은 hot spot 가설(불균등 분포로 인해 특정 부위에 플루토늄이 다량 모임)을 채택.

4) 경계 작업(boundary work)

- Sheila Jasanof (과학기술학자)가 제시
- 논쟁을 벌이는 당사자들이 상대의 주장을 비과학적인 것으로 치부하기 위해 불확

실성을 각자 다르게 기술(e.g., 화학약품 기업은 독성에 대한 과학적 근거가 없다면서 시민단체를 비판하고, 시민단체는 기업이 이익을 위해 과학적 위험 가능성을 은폐하고 있다고 주장)

- 한국의 저선량 방사선 논쟁에서 필요한 것은 경계 작업이 아니라, 서로가 말하는 "안전"의 개념이 같은 것인지를 확인하는 것.

3. 언던 사이언스(undone science)

1) 정의: 만들어질 수 있었지만 특정한 이유 때문에 만들어지지 않은 과학 지식의 영역. 데이비드 헤스가 의도적/체계적으로 무시되고 연구되지 않은 영역을 언던 사이언스로 명명함(e.g., 화학 물질이 갖는 잠재성에 대한 연구는 활발한 데 반해 인체 독성에 대한 연구가 잘 되지 않았던 것)

2) 데이비드 헤스는 이렇게 의도적으로 배제되는 연구 과제들 중 필요에 따라 기존의 과학 연구 방식과 다른 사회운동가들에 의한 사회 의제 해결을 위한 과학 연구를 제안('시민사회연구')하고 정부의 지원이 늘어야 한다고 주장.

3) 우리의 과학 연구가 놓치고 있는 지점은 없는지 둘러보는 시각이 필요.

4. 기후과학의 확실성과 불확실성

1) 지구온난화에 대한 이견

- 중국: 선진국들이 대기 오염을 악화시켜 놓고 이제 개발도상에 있는 나라들에게 공업을 억제하려 드는 것은 불공정하다.

- 석유업체에서 지원을 받거나 받지 않는 양심적 과학자들 중 일부조차도 지구 온난화가 과장되었다고 주장

- 미 보수당: 위의 과학자들의 주장을 근거로 미국이 기후협약에 소극적으로 참여하도록 함.

2) 지구온난화

- 원래 현재의 지구는 간빙기(빙하기와 빙하기 사이)에 처해 있어 온도가 올라가는 것이 정상. 그런데 인류가 초래한 대기오염이 여기에 추가적인 온도 상승을 얼마나 일으키고 있는가가 문제

- 푸리에가 처음 왜 지구의 온도가 일정하게 유지되는가를 연구하면서 온실효과의 개념을 창안.

- 1938년에 캘린더가 인간의 활동으로 인해 나오는 이산화탄소가 온실효과를 악화시킬 수 있음을 주장하였으나, 당시에는 지구온난화에 대한 관심이 크지 않았음. 지구의 크기에 비해 미미하다고 생각했고 심지어는 농/어업에 긍정적인 영향을 끼칠 것이라고까지 생각함.

- 그러나, 2차 세계대전에서 원자탄의 엄청난 살상력을 보면서 인간이 환경을 크게 바꿀 수도 있다는 인식이 생기고, 1958년 기상학자 킬링이 매년 꾸준한 이산화탄소 농도 증가가 있음을 보여주자 심각한 문제로 인식되기 시작함. → 빙하가 녹을 수 있다거나, 화성/금성이 이런 변화로 인해 황량하게 변했다 등등. → 1979 1차 세계기후회의 → 1988 정부 간 기후변화패널(IPCC) 출범, 2014년까지 5차 보고서 작성 → 경제적인 영향이 클 수 있어서 논쟁과 비판의 대상이 됨.

- 1997 교토 의정서: 2008-12년의 온실가스 농도를 1990 수준에서 최소 5% 감축. 그러나 중국/인도가 개발도상국으로 분류되어 책임이 면제됨. 이후 선진국/개발도상국 간에 차이를 두지 않는 체제를 마련하기로 했으나 캐나다가 탈퇴, 일본, 러시아가 불참을 공표하면서 의미가 퇴색.

3) 기후과학의 불확실성

- 불확실성은 주로 위험의 평가와 관련이 있음. 위험이 불확실할 때에는 이를 감수하고 수용할 수 없음.

- IPCC도 창립 초기에는 지구온난화를 확실한 결과로 규정하였으나 1990년 이후 기후 연구가 진행되면서 지구온난화의 발생이 불확실한 것으로 생각되기 시작(현대 과학으로는 충분한 데이터를 얻을 수 없음이 확인됨. e.g., 과거의 지표 온도 등)

- 빙하가 녹느냐, 얼마만큼 녹느냐에 따라 식수의 부족 여부, 부족한 정도가 극명하게 달라지는데, 연구자들마다 추정치가 다름.

- 이러한 불확실성이 회의론자들의 비판의 초점이 됨.

- 기후과학자들의 대응

  i) 지구의 기온이 올라가고 있다는 것, 빙하가 녹고 있다는 것 등 확실하게 알고 있는 사실도 많다.

  ii) 불확실성이란 과학이 미지의 영역을 개척하면서 당연히 포용해야 할 영역이지, 과학의 약점이 아니다.

4) 시민사회 구성원들 간에(시민들-전문가들) 신뢰 구축이 필수적.

5. 위험과 위험사회

1) 근대화가 낳은 위험에 직면한 현대사회를 지칭.

- 사회의 복잡성이 증가하면서 위험 역시 함께 증가해 있는 상태
- 복잡한 사회 시스템과 관료제가 결합해서 낳은 것임.
- 지금까지 위험을 극복하기 위해 만들었던 도구가 더 큰 위험을 초래

2) Deborah Lupton의 위험 분류

- 환경 위험(오염, 방사능)
- 생활 양식의 위험(식품 소비, 성행위)
- 의료 위험(약물 치료, 수술)
- 사회 관계의 위험(결혼, 부모 역할)
- 경제적 위험(실업, 파산)
- 범죄 위험

3) 자연재해와 구별되는 위험

4) 위험사회의 특징

- 비가시적, 만성적
- 보편적으로 편재해 있고 불확실
- 사회적 원인에 의해 발생한 위험을 개인이 책임지는 경우가 많고 사회나 조직은 책임을 지지 않음("조직된 무책임").
- 책임소재가 불분명한 경우가 많고, 사고 원인 자체를 확인하기 어려운 경우도 많음.
- 사전 예방의 원칙이 잘 적용되지 않음.
- 위험을 대처하기 위해 발전시킨 과학 기술이 다시 새로운 위험으로 등장, 시민-전문가 간 갈등 증폭

5) 복잡한 기술 시스템의 안정성에 대한 대처 두 가지

- 고신뢰 이론(high reliability theory): 매우 위험한 기술이라고 해도 고신뢰 조직의 정교한 안전 관리를 통해 활용 가능
- 정상사고론(normal accident theory): 복잡 시스템에서의 사고는 피할 수 없다.

6) 위험 사회에서 위험의 대부분은 과학과 기술의 발달에 의해 발생하기 때문에 먼저 전문가들의 손에 맡겨져 관리되지만, 이 위험에 잠재적으로 노출되었다고 느끼는 주민이나 시민들에 의해 위험의 생성과 분배를 놓고 갈등이 발생함.

7) 유일한 방법: 위험을 예방하는 단계나 위험이 발생했을 때에 시민 참여의 기제를 늘리는 것이 유일한 생존 매뉴얼

6. 사전주의 원칙

1) 거버넌스(governance): 특정 차원의 문제들을 관리하는 과정, 방법, 그리고 구조와 행위자 사이의 상호작용 패턴 혹은 메커니즘

2) 위험 거버넌스: 어떻게 관련 있는 위험 정보가 수집되고 분석되며, 의사소통되고 관리 결정이 이루어지는지와 관계된 행위자들과 규칙들, 규약들, 과정들과 메커니즘의 총체

3) 사전주의 원칙(precautionary principle): 과학적으로 불확실한 경우 예방 조치를 취해야 한다는 원리

- 1970년대 서독에서 처음 국가적인 차원에서 논의(북해의 오염, 지구온난화, 산성비에 대한 규제 정책을 진행하면서 규제로 인한 자국의 피해를 최소화하기 위해 EU의 다른 국가들에도 같은 수준의 규제를 하도록 압력
- 1990년대 마스트리히트 조약에서 사전주의 원칙을 강조하는 내용을 기입
- 1980-90년대를 거치면서 유럽을 넘어 각국의 국제적인 정책 의제/국제 협약에 등장

4) 사전주의에 대한 해석이 다소 차이가 있음

- 유럽: 불확실성이 팽배한 상황에서 효과적인 과학적 접근의 일반 원리로 인정되어 환경법 영역에서는 관습법의 지위를 누림
- 미국: 비과학적인 것이자 정치적 고려를 반영하기 위한 위장된 보호무역주의로 의심

- 약한 공식화/강한 공식화: 판단의 중요성과 경제적 효용성을 강조하며 손익 분석 수행, 현 상태를 유지하려는 해석(약한 공식화)와 확실히 규제를 가하려는 강한 공식화

5) 사전주의에 대한 비판과 옹호

- 비판: 비과학적이다, 정의와 해석이 분분하다

- 옹호: 다양한 해석이 나오는 이유는 위험에 내재하는 불확실성과 가치판단의 차이 때문, 정량적인 위험 분석과는 다르며 실제적으로 위험을 관리할 수 있는 효과적인 방법론

7. 위험 분석, 그 역사와 모델

1) 정량적 평가

- 위험 평가의 대부분은 정량적 평가에 의존: 엔지니어링 전통(1967 아폴로 폭발 사건)과 작업장/식품의 발암물질의 위험을 평가하는 전통에서 비롯

- 문제는 이 위험 확률을 계산하기 어렵다는 것: e.g., 얼마만큼의 화학물질/방사선이 가해지면 암을 일으키는가에서 역치를 정하는 문제와 그 역치에 따른 노출 제한 기준을 정하는 문제. 와인버그는 이를 "트랜스-과학(trance-science)"라고 명명했으며, 이는 과학이 질문할 수 있으나 과학이 답할 수 없는 문제를 일컬음.

- 실제 미국 직업안전건강국에서 비닐 클로라이드에 대한 노출을 최소화하라는 권고를 하였으나, 기업들이 직업안전건강국의 노출 수준 평가가 비과학적이라 비판하였고 이것이 대법원에서 받아들여짐.

2) 레드 북(미국 과학아카데미, 1983)

- 과학적인 위험 평가와 정치적인 부분이 수반되는 위험 관리를 완전히 분리하도록 권고하여 과학자들과 정부에게 모두 환영받음

- 그러나, 1) 충분한 위험 평가가 바람직한 위험 관리로 이어지지 않으며, 과학적인 데이터에 대한 불신 등이 생겨났고, 2) 위험 평가-위험 관리는 상호 작용을 통해 가능한 것이었음이 드러남. → 규제기관, 과학자, 주민/시민들이 적절하게 참여하여야 가능한 작업임. 따라서 주민/시민의 전문가 집단에 대한 신뢰가 가장 중요

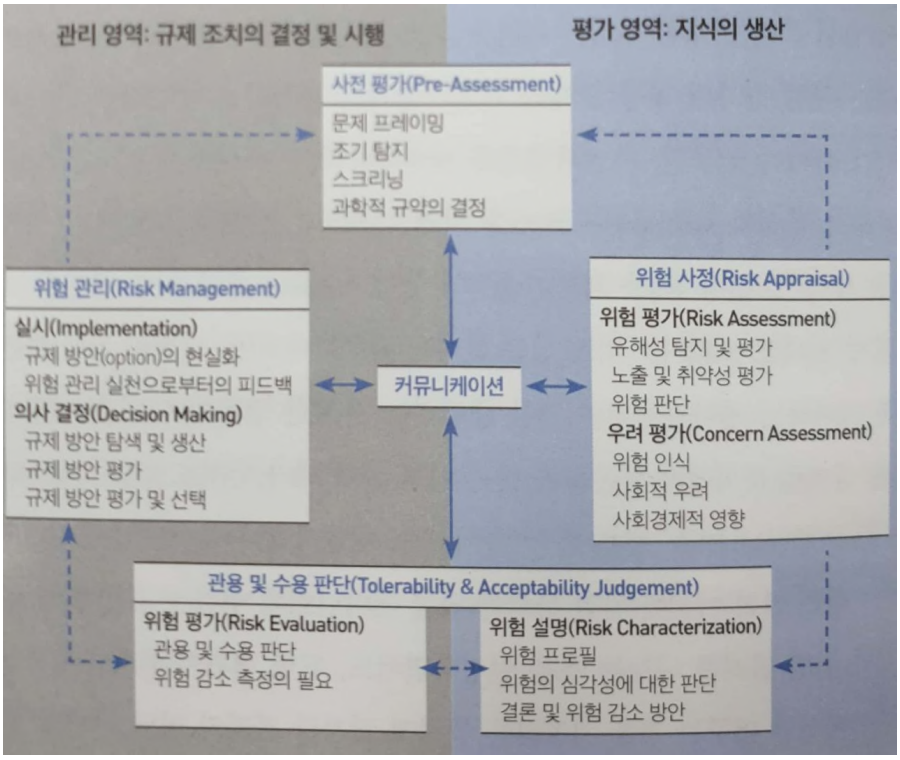
3) 오렌지 북(미국 과학아카데미, 1996)

- 위험 결정(위험 평가의 최종 단계)을 하는 데 있어 관련된 모든 당사자(전문가, 정

부 관리, 시민/주민)가 참여하여 분석과 숙의를 함께 진행할 것을 권고(분석만 하는 것은 해가 되기도 한다).

4) 통합 모델(국제 위험 거버넌스 위원회, IRGC)

- 위험 평가(risk assessment) 대신 위험 사정(risk appraisal)이라고 표현
- 위험 사정: 정량적/기술적인 위험 평가 + 정성적인 우려 평가(concern assessment)
- '사전 평가', '관용 및 수용 판단' 단계가 추가: 위험 사정과 위험 관리 사이 단계로 들어감.



IRGC의 통합 모델: 아직 평가-관리 영역이 상이한 두 영역으로 남아 있어 최근 이 두 가지가 하나의 사이클로 맞물려 있는 모델이 제안되기도 함.

8. 신뢰와 위험 커뮤니케이션

1) 전문가와 관련 시민들 사이의 신뢰 구축이 위험 커뮤니케이션에서는 필수적

2) B.Barber에 따르면 신뢰는 두 가지 영역으로 구성: 전문성에 대한 신뢰와 도덕적 책임감에 대한 신뢰

3) 사람들의 정부나 전문가에 대한 신뢰는 이중적임: 전문성은 신뢰하면서도 도덕적 책임감에 대해서는 의심.

4) 숙의 과정에서 신뢰를 유지하기가 어려움 – 위험의 불확실성이 크고, 전문가들의 의견도 갈리며, 대중들이 공포와 미지라는 기준으로 위험을 판단하기 때문 → NIMBY 현상으로 종종 흐른다.

5) 유타, 네바다 주의 방사능 낙진 피해자에 대한 과학적 조견표가 주민들에게 거부되었던 이유는 그 데이터를 과학적으로 받아들이지 않아서가 아니라 정부의 제도를 믿지 못했기 때문 → 계량적 기법으로 신뢰를 회복할 수 없다.

6) 1988 미국 환경보호국의 위험 커뮤니케이션의 일곱 가지 원칙

- 대중을 정당한 파트너로 받아들이게 하고 관여하게 하라
- 대중에게 귀를 기울여라
- 정직하고 솔직하고 개방적이어야 한다
- 다른 믿을 만한 집단과 협조하고 협력하라
- 언론의 요구를 충족시켜라
- 공감을 가지고 분명하게 말하라
- 신중하게 계획하고 성과를 평가하라

7) 캐스퍼슨의 위험 커뮤니케이션을 성공시키기 위한 조건

- 갈등의 원인은 전문가는 위험 커뮤니케이션을 위험 관리를 위한 수단으로 생각하나 대중은 이 참여 자체가 생존, 즉 목적으로 다르기 때문
- 위험 발생 초기의 커뮤니케이션과 지속적인 대중 참여가 가장 중요
- 전문가나 규제 집단에 대한 신뢰/신용이 필요(전문성은 필요 조건이지 충분 조건이 아님)
- 위험 관련 지식이 민주적이고 공평하게 분배되도록 할 것
- 참여도 높은 대중에게는 목적을 공유, 참여도 낮은 대중에게는 위험 인식을 높이는 데 집중
- 상황에 따라 서로 다른 방식의 커뮤니케이션 계획을 수립

8) 상대방에 대한 인식

- 대중의 전문가에 대한 인식: 지식의 전문성은 인정하나 완벽하지 않다고 생각, 전문가와 규제 당국을 구분하지 않고 크게 하나의 규제 주체로 인식, 사적인 이해관계에 묶여 있는 전문가를 규제 당국보다 더 불신, 전문 지식은 판단 기준 중 하나일 뿐으로 생각

- 전문가의 대중에 대한 인식: 대중을 하나의 전체 집단으로 생각하면서도 동시에 직접 관계를 맺고 있는 특정 대중 주체들에 대해 따로 판단하기도 하며 이들을 더 긍정적으로 평가하기도 함, 대중들이 판단을 하는 데 있어 지식의 부족이 결정적인 결격사유라 생각

9. 왜 위험 관리에 시민 참여가 필요한가

1) 17세기 도박의 승률을 확률로 계산하면서부터 위험은 확률론적으로 계산되어 왔음.

2) 결정론적 방법

- 2차대전 당시 뒤퐁 사에서 원자로의 설계를 위험을 최소화하는 방식으로 설계: 결정론적 설계

- 1960년대까지 확률론적 방법과 공존하다가 1970년대 라스무센 보고서가 스리마일 섬의 사고(1979)를 앞두고 사고 확률을 매우 낮게 추정(운석을 맞을 정도의 확률)하는 일이 생기면서 결정론적 방법이 대세가 됨.

3) 대중들의 위험 선택에 있어서의 경향

- 같은 확률의 위험이라 하더라도 확률론으로 기술하느냐 결정론으로 기술하느냐에 따라 사람들의 선택이 달라짐

- 선택할 수 있는 위험에 대해서는 관대(흡연), 외부에서 강제되는 위험에 대해서 엄격(방사능 피폭)

- 끔찍한 결과, 미지의 정도에 비례하여 위험을 체감

4) 더글러스

- 원시 사회 뿐 아니라 현대 사회도 위험 포트폴리오(risk portfolio)를 만들어 공유함

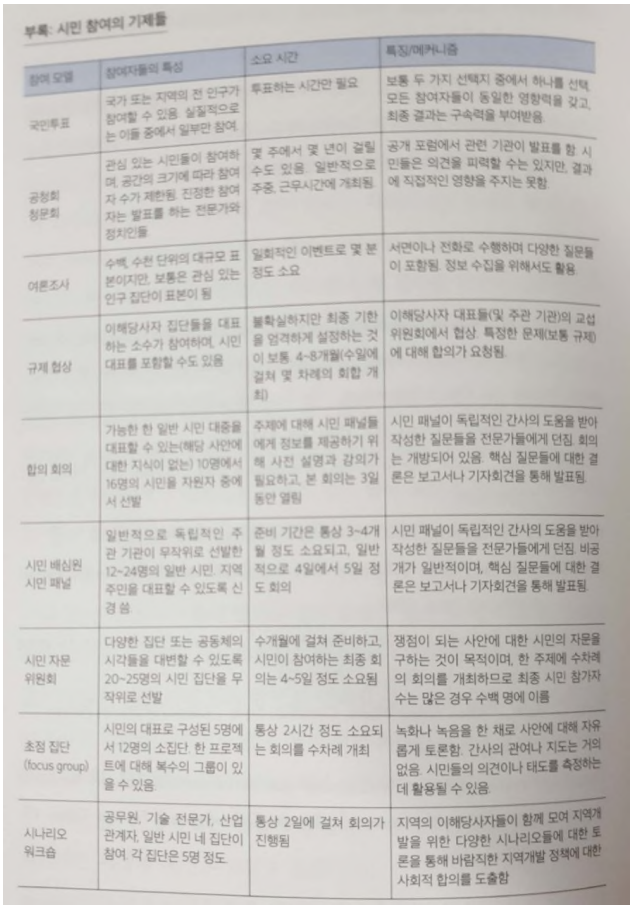
- 그리드(사회 규정에 얽매이는 정도), 그룹(연대감/소속감의 정도)에 따라 대중이 위험을 느끼는 요소가 다름.

- 위험 = (확률 x 피해의 심각성[범위]) – (신뢰 x 책임의 수용 x 절차에 대한 동의)
- 그러므로 전문가나 정부가 대중에게 일방적으로 정보를 제공해서 설득하겠다는 생각을 버려야 위험 커뮤니케이션이 가능.
- 불확실성이 많은 기술적 위험에 직면(GMO, 광우병 등)했을 때는 확대된 공동체의 참여를 통해 천천히 나아가는 방법밖에 없음.

5) 민주 사회에서는 결과보다도 절차적 정당성이 더 중요: 소극적(투표, 공청회) 또는 적극적인(공청회, 주민 투표, 시민 패널, 여론 조사, 규제 협상) 시민 참여 기제가 동반되어야 함

6) 캐나다의 앨버타, 퀘벡, 마니토바에서 핵폐기장 건설을 위한 주민 참여 사례: 초기 단계부터 시민들이 적극적으로 참여 + 직접적 경제적 보상 및 간접적 지역 개발 보상 등이 이루어짐 + 신뢰 구축 + 정부-기업간 원활한 역할 분담

7) 합의 회의(consensus conference): 전 세계적으로 실험되고 있는 모델. 사회적 논쟁의 대상인 과학 기술 쟁점을 두고 일반 시민들로 구성된 패널을 조직하여 전문가의 의견을 들어가며 숙의하여 합의를 도출



부록: 시민 참여의 기제들

참여 모델	참여자들의 특성	소요 시간	특징/메커니즘
국민투표	국가 또는 지역의 전 인구가 참여할 수 있음. 실질적으로는 이들 중에서 일부만 참여.	투표하는 시간만 필요	보통 두 가지 선택지 중에서 하나를 선택. 모든 참여자들이 동일한 영향력을 갖고, 최종 결과는 구속력을 부여받음.
공청회 청문회	관심 있는 시민들이 참여하며, 공간의 크기에 따라 참여자 수가 제한됨. 진정한 참여자는 발표를 하는 전문가와 정치인들	몇 주에서 몇 년이 걸릴 수도 있음. 일반적으로 주중, 근무시간에 개최됨	공개 포럼에서 관련 기관이 발표를 함. 시민들은 의견을 피력할 수는 있지만, 결과에 직접적인 영향을 주지는 못함.
여론조사	수백, 수천 단위의 대규모 표본이지만, 보통은 관심 있는 인구 집단이 표본이 됨	일회적인 이벤트로 몇 분 정도 소요	서면이나 전화로 수행하며 다양한 질문들이 포함됨. 정보 수집을 위해서도 활용.
규제 협상	이해당사자 집단들을 대표하는 소수가 참여하며, 시민 대표를 포함할 수도 있음	불확실하지만 최종 기한을 엄격하게 설정하는 것이 보통. 4~8개월(수일에 걸쳐 몇 차례의 회합 개최)	이해당사자 대표들(및 주관 기관)의 교섭 위원회에서 협상. 특정한 문제(보통 규제)에 대해 합의가 요청됨.
합의 회의	가능한 한 일반 시민 대중을 대표할 수 있는(해당 사안에 대한 지식이 없는) 10명에서 16명의 시민을 자원자 중에서 선발	주제에 대해 시민 패널들에게 정보를 제공하기 위해 사전 설명과 강의가 필요하고, 본 회의는 3일 동안 열림	시민 패널이 독립적인 간사의 도움을 받아 작성한 질문들을 전문가들에게 던짐. 회의는 개방되어 있음. 핵심 질문들에 대한 결론은 보고서나 기자회견을 통해 발표됨.
시민 배심원 시민 패널	일반적으로, 독립적인 주관 기관이 무작위로 선발한 12~24명의 일반 시민. 지역 주민을 대표할 수 있도록 신경 씀	준비 기간은 통상 3~4개월 정도 소요되고, 일반적으로 4일에서 5일 정도 회의	시민 패널이 독립적인 간사의 도움을 받아 작성한 질문들을 전문가들에게 던짐. 비공개가 일반적이며, 핵심 질문들에 대한 결론은 보고서나 기자회견을 통해 발표됨.
시민 자문 위원회	다양한 집단 또는 공동체의 시각들을 대변할 수 있도록 20~25명의 시민 집단을 무작위로 선발	수개월에 걸쳐 준비하고, 시민이 참여하는 최종 회의는 4~5일 정도 소요됨	쟁점이 되는 사안에 대한 시민의 자문을 구하는 것이 목적이며, 한 주제에 수차례의 회의를 개최하므로 최종 시민 참가자 수는 많은 경우 수백 명에 이름
초점 집단 (focus group)	시민의 대표로 구성된 5명에서 12명의 소집단. 한 프로젝트에 대해 복수의 그룹이 있을 수 있음.	통상 2시간 정도 소요되는 회의를 수차례 개최	녹화나 녹음을 한 채로 사안에 대해 자유롭게 토론함. 간사의 관여나 지도는 거의 없음. 시민들의 의견이나 태도를 측정하는 데 활용될 수 있음.
시나리오 워크숍	공무원, 기술 전문가, 산업 관계자, 일반 시민 네 집단이 참여. 각 집단은 5명 정도.	통상 2일에 걸쳐 회의가 진행됨	지역의 이해당사자들이 함께 모여 지역개발을 위한 다양한 시나리오들에 대한 토론을 통해 바람직한 지역개발 정책에 대한 사회적 합의를 도출함

10. 시민의 전문적 지식

1) 일반적으로 위험 거버넌스에서 시민들의 참여는 정치적 결정 단계에 국한되며 기술적 위험 평가는 전문가의 영역으로 여겨짐.

2) 최근 전문성이 소위 전문가라고 불리는 사람들의 전유물이 아니라는 주장이 나옴. "비전문가적 지식(lay knowledge)"

   ➔ 체르노빌 사건 후 과학자들과 목양농 간 양의 판매를 둘러싼 논쟁에서 과학자들의 결론이 실제 토질과 목양의 조건이 다르다는 목양농들의 지적이 실제 결과와 더 가깝게 나오면서 과학자들에 대한 신뢰가 하락

   ➔ 이외에도 메사추세츠 주에서 주민들이 독성 폐기물-백혈병 관련성을 발견하는 데 결정적 공헌을 한 사례, Epstein의 에이즈 연구 디자인에 시민들이 공헌한 사례 등이 있음.

3) 칼롱: 지식의 공생산(co-production). 환자들이 자신의 병을 기준으로 정체성을 형성하고 의학 연구에 연구비를 지원하거나 부차적인 역할만을 맡는 것이 아니라 자신들의 경험과 객관화된 지식을 통해 과학 지식을 생산하는 데 주체적으로 참여

4) 그러나 시민의 참여가 제한되는 영역도 분명히 있고(나노 기술, 생명 공학 등) 그 경계에 대해 논쟁이 분분함.

11. 규제과학

1) 규제과학: 위험의 평가 및 기준 설립과 같은 규제를 위한 연구를 수행하고 규제에 관련된 지식들을 생산하는 과학 활동

2) 전통적인 과학-정책 관계 모델

   - 정부가 정책적 요구를 하면 과학계에서 과학적 사실을 전달 → 정부가 규제 입안.
   - 2008 한-미 쇠고기 위생 조건 개정 2차 협상 타결 후 벌어진 논쟁: 정치적 목적을 위해 과학적 결론이 왜곡되었다는 비판 → 정부는 OIE의 표준을 준수한 것이라 응수
   - 이 모델 내에서는 과학과 정치가 분리되어 상대방을 비과학적이라 비난하게 됨. 그러나 실제로 이런 논쟁은 양측 다 과학적 기반 위에서 자신의 주장을 펼치게 됨.
   - 실제 규제과학은 정치와 과학 양측에 다 맞닿아 있는 분야임.

3) 규제과학의 특성(학술과학과 대비되는)

- 주 목적은 규제를 위한 정보 생산 또는 규제 입안자에게 필요한 정보를 제공하는 것
- 대학보다는 정부나 기업 산하 연구소에서 주로 이뤄짐.
- 연구 기간에 제약이 주어짐.
- Peer review를 받는 학술지보다는 관청에 제출하는 보고서 형태로 결과가 나옴.
- 연구 결과가 믿을 만하냐는 판단은 입법부, 법원, 여론 등에 의해 내려짐.
- 명시적으로 정치의 영향을 받음.
- 과학의 규범을 벗어나 있는 것처럼 보이지만 엄연히 한 종류의 과학으로 받아들여져야 함.

4) 규제는 국가별로 스타일이 있다.

- 정치적/사회적/경제적 관심이 다름.
- GMO 식품에 대해서 실질적 동등성(그냥 식품과 비교해 동등한 정도의 무해하다는 것에 대한 과학적 확신)이 있으면 안전하다고 결론을 내린 IFBC의 결정에 대해 미국에서는 인정하는 반면(수치/계량적 데이터를 존중하는 문화), 유럽에서는 여전히 GMO 식품의 안전을 의심하는 분위기(여러 전문가의 협상을 통해 도출된 협상된 객관성이 중시되는 분위기)

12. 적정 기술

1) 정의: 그 기술이 사용되는 사회 공동체의 정치적, 문화적, 환경적 조건을 고려해 해당 지역에서 지속적인 생산과 소비가 가능하도록 만들어진 기술

   e.g. lifestraw (필터 없이 바로 물을 마실 수 있도록 만들어진 빨대), pot-in-pot cooler (전기 없이 냉장을 할 수 있는 항아리), 수동 펌프 등

2) 1960년대 경제학자 슈마허가 만들어낸 '중간 기술'이라는 용어에서 시작: 원시적인 기술보다 우수하나 선진국의 거대 기술에 비하면 소박한 기술. 현지의 재료와 소규모 자본, 간단한 기술을 기반으로 이루어지는 소규모 생산 활동을 지향. → 첨단 기술에 비해 열등하다는 느낌을 줄 수 있어 적정 기술로 용어 변경

3) 제3세계 원조를 위한 기술

- 1966년 슈마허가 Intermediate Technology Development Group을 설립(현 Practical Action)
- 1970 Sussex Manifesto

4) 개도국이 아닌 선진국에 적용 가능한 대안 기술로서의 적정 기술 개발
   - 태양광 패널
   - 지속 가능한 발전을 추구

5) 적정 기술의 위기
   - 대규모 공업 기술을 통해 경제를 급속히 발전시킨 한국, 대만 등의 사례가 나오면서 적정 기술이 빈곤을 해결하는 데 효과적이지 않다는 비판이 나오면서 1980년대 적정 기술에 대한 논의가 몰락
   - 유가가 하락하면서 슈마허의 문제 제기가 힘을 잃음

6) Pual Polak
   - 적정 기술을 기부하는 문화가 그 실패로 이어진 것이며 냉정한 사업가가 적정 기술을 이끌어야 한다고 주장.
   - 90%의 소외된 계층을 자선의 대상이 아니라 고객으로 바라봐야 함.
   - 지불 능력이 막강한 소수의 소비자를 주요 고객으로 삼아 온 기존의 상품 디자인을 비판하며 '소외된 90%를 위한 디자인'을 주장

7) 현재의 적정 기술은 전 세계적으로 기업, 정부, NGO 등에서 다양한 활동을 통해 다시 힘을 얻어 진행 중: 특정한 종류의 기술이라기보다 어떤 기술이 사회와 맺는 관계로서 바라봐야 함.