

실험의 자율성과 구속성: 이론, 도구, 실험 간의 다양한 관계*†

이 상 원‡

실험의 자율성을 1) 현상의 자율성, 2) 실험 목적의 다양성, 3) 도구쓰기의 자율성으로 나누어 그 주요한 의미를 파악하고자 한다. 실험의 구속성은 4) 이론에 의한 구속을 중심으로 논의할 것이다. 과학에서 볼 수 있는 여러 가지 구체적인 사례를 중심으로 위 네 가지 측면에서 실험의 자율성과 구속성이 무엇인지를 검토하게 된다. 이어 자율성과 구속성의 관념이 서로 대척의 위치에 있지 않으며, 자율성과 구속성이라는 두 관념은 이론과 실험 간의 서로 다른 여러 관계를 이해하도록 해주는 두 관념임을 살펴보고자 한다.

【주요어】 현상의 자율성, 실험 목적의 다양성, 도구쓰기의 자율성, 이론의 실험에 의한 구속

1. 유형

실험의 자율성에 대한 논의는 실험철학자의 중심적 레퍼터리에 속해

† 이 논문은 2004년도 과학문화연구센터 연구비 지원에 의한 것임. 익명의 심사위원의 비판과 지적은 논문을 수정하는 데 큰 도움이 되었으며 이에 감사드린다.

‡ 서울시립대 교양교직부 강의교수

* 접수완료: 2006. 5. 30. / 심사 및 수정완료: 2006. 6. 22.

있다. 이러한 논의는 주로 이론이 실험에 앞서느냐, 반대로 실험이 이론에 앞서느냐, 혹은 양자 모두가 가능하냐에 대한 입장과 관련지어 이야기되어 왔다. 자율성을 이 양자 간의 관계 속에서 다시 현상(phenomena), 실험 목적, 도구(instruments)와 기법 등의 측면과 관련된 자율성으로 세분하여 그 주요한 의의를 이해할 필요가 있다. 한편 실험의 구속성은 이론에 의한 구속을 중심으로 논의할 것이다. 실험의 자율성과 구속성을 크게 다음과 같은 네 가지로 구분하고자 한다.

자율성

- 현상의 자율성
- 실험 목적의 다양성
- 도구쓰기의 자율성

구속성

- 이론에 의한 실험의 구속

현재까지 실험의 자율성과 구속성에 대한 철학적 논의가 없었던 것은 물론 아니다. 하지만 실험의 자율성과 구속성에 대한 보다 체계적이고 일반적인 논의는 부재하는 상태라고 말할 수 있다. 특히 자율성에 대한 논의에 비하여 구속성에 대한 논의는 상대적으로 적은 편이며, 계속적인 논의의 개발이 필요한 실정이다. 이와 같은 상황을 염두에 두고 필자는 현재까지 제기되어온 관련 논의를 포괄적으로 다룰 것이나 단순히 소개하는 데에 그치고자 하지 않는다. 필자의 위와 같은 분류 틀과 필자가 준비한 구체적 사례를 중심으로 실험의 자율성과 구속성에 대한 논의를 정교화 하고자 한다. 먼저 실험의 자율성과 구속성에 대한 기존의 논의를 흡수하되, 필자의 네 가지 분류에 입각하여 검토할 것이다. 이를 위하여 과학에서 나타나는 여러 가지 구체적인 사례를 제시하는 방법으로 위 네 가지 의미의 실험의 자율성과 구속성이 무엇인지를 파악한다. 이어 외견상의 느낌과는 달리 자율성과 구속성의 관념이 서로 대척의 위치에 있지 않으며, 자율성과 구속성이라는 두 관념은 이론과 실험 간의 서로 다른

여러 관계를 이해하도록 해주는 두 관념임을 논변하고자 한다.

2. 현상의 자율성

실험의 이론으로부터의 상대적인 자율성 테제는 그 안에 몇 가지 구별되는 내용을 갖고 있다. 그 가운데 먼저 떠올릴 수 있는 내용은 실험적 ‘현상’ (phenomena)과 관련된 자율성이다. 어떤 특정한 이론의 입증 (confirmation)을 위하여, 또는 특정한 이론을 받아들이고 있는 상태에서 일으킨 현상은 그 이론이 한 때 참으로 여겨졌다가 나중에는 참이 아닌 것으로 판명이 나더라고, 그 현상은 그 이론의 운명과 무관하게 자신의 생명을 유지하게 된다. 이를 ‘현상의 자율성’ 이라 부르기로 한다.

레이든 병(Leyden jar)이 그 한 예이다. 레이든 병은 전기가 ‘유체’ 라는 18세기의 전기 이론과 직접적으로 관련되어 있었다. 따라서 당시에 레이든 병은 그러한 전기 유체를 모은다고 여겨졌다. 현재의 눈으로 보면 전기 유체를 모은다는 실험은 엉뚱한 실험으로 보일 수가 있다. 하지만 당시에는 유체로서의 전기를 모으고 있다고 실험자들이 믿고 있었음에 틀림없다. 지금은 전기가 유체라는 이론이 사라졌지만 레이든 병은 ‘똑같은’ 현상을 보여준다. 즉 레이든 병이라는 도구를 사용하면 이 도구는 일정한 전기적 현상을 안정적으로 일으킨다는 것이다.

다른 경우를 들어본다. 와트(James Watt)는 증기 기관의 개량자로 유명하다. 하지만 그가 당시에 근거한 이론은 근대 열역학이 아니라 ‘칼로릭’ (caloric) 이론이었다. 칼로릭 이론은 근대 열역학으로 대체되었으나 증기 기관은 과거와 마찬가지로 작동할 뿐이다.

일상생활의 영역에서 쓰이는 도구를 들어 이런 자율성의 측면을 쉽게 보여줄 수 있다. 사진기의 예를 살펴보기로 한다. 우리는 사진기를 통해 각종의 영상을 담아낼 수 있다. 사진기를 쓰는 이가 사진기에 대한 이론을 반드시 알 필요는 없다. 어떤 이가 어떤 사진기를 구입하여 사용하고자 할 때, 사진기를 포장한 상자 안에 포함되어 있는 사진기 사용법을 읽어 보면 족하며, 사진기가 어떤 이론에 의거하여 제작되었는지를 꼭 알아

야만 사진기를 사용할 수 있는 것은 아니다. 하지만 그 사진기가 최초로 제작되는, 즉 창조되는 단계에서는 일정한 이론을 요구한다. 물론 이때의 이론이 반드시 ‘고수준의’ (high-level) 이론이어야만 하는 것은 아니다. 그러나 일단 사진기의 작동이 ‘안정성’ (stability)을 얻게 되면 사정이 달라진다. 사진기가 안정적으로 영상을 담아내면 그 사진기는 그 사진기의 작동에 관한 이론, 즉 ‘도구 이론’과 무관하게 생명을 유지하게 된다. 심지어는 사진기의 작동에 관한 이론이 잘못된 것으로 알려지더라도 사진기는 제대로 작동할 것이고, 특정한 시각적 이미지를 계속 제공할 것이다. 그런 의미에서 도구 이론은 시간의 함수이다. 시간이 흐른 뒤에 도구 이론은 틀린 것으로 판명날 수 있다. 그러나 도구는 여전히 쓰일 수 있다. 이와 같은 의미의 자율성이 실험의 본성을 적절히 이해하기 위해 주목할 만한 것임은 물론이다.

해킹(Ian Hacking, 1983)은 주로 이런 의미에서 ‘실험 그 자체의 생명’의 이미지를 주조해냈다. 그의 도구 철학은 바로 이 이미지 위에서 있다. 현미경은 현미경에 대한 이론이 틀려 버려도 여전히 특정한 이미지를 보여준다는 것이다. 전자가 도구로 쓰이는 실험도 마찬가지다. 전자에 대한 이론이 잘못 되었다고 판명이 나도 전자를 방출시키는 장치를 전과 다름없이 쓸 수 있다는 관점이다. 해킹이 실험은 그 자체의 생명을 갖는다고 말하는 대목은 위와 같은 사례들에 대한 인식을 통해 더 구체화되고 발전될 수 있을 것이다.

3. 실험 목적의 다양성

현상의 자율성에 이어 실험 ‘목적’의 자율성이 존재한다. 이론과 실험의 관계에서 일반적으로 받아들여져 오던 견해는 실험은 이론을 시험(test)하는 목적을 갖는다는 믿음이었다. 해킹은 이론에 부수적인 것으로서의 실험, 특히 시험만을 위한 실험이 존재하는 것은 아니라고 주장한다(Ian Hacking, 1983, 149-166). 오히려 이론을 구성하려는 실험과 이론에 앞서 실험도 과거에 많이 있었다는 것이다. 즉 해킹의 견해에 따르면, 실

험이 가설에 대한 시험과 같은 ‘이론적인 목적’ 만을 위해서 존재하는 것은 아니며, 실험은 매우 다양한 목적을 갖고 있다.

이론과 실험의 관계에 대하여 널리 받아들여져 오던 견해는 실험이 이론을 시험하는 목적을 갖는다는 믿음이었다. 하지만, 해킹이 보기에, 실험은 이론을 시험하는 것만을 목표로 하는 것은 아니다. 그는 바르톨린(Erasmus Bartholin), 그리말디(Francesco Maria Grimaldi), 후크(Robert Hooke), 뉴튼(Isaac Newton) 등을 그러한 예로 제시했다. 뉴튼의 빛의 분산에 대한 연구, 후크와 뉴튼의 얇은 판들(thin plates)의 색깔에 대한 연구 작업은 모두 ‘이론에 앞선 것’이었으며, 이러한 연구는 후에 뉴튼의 고리(Newton’s ring)로 불리는 간섭 현상으로 인도되었다. 그런데 이러한 현상들에 대한 최초의 정량적인 설명은 백년 이상이 지난 후 1802년에 이르러서야 비로소 영(Thomas Young)에 의해 처음으로 주어졌다는 것이다.

해킹은 실험의 가장 중요한 목적은 이론의 시험도 아니고, 단순히 관찰을 하기 위한 것도 아니고, 측정을 위한 것도 아니며, 오히려 ‘현상의 창조’(creation of phenomena)라고 본다. 실험자는 자연의 비밀을 알기 위해 자연의 순수 상태에서는 존재하는 않는 현상을 창조해내는 것을 주된 임무로 하며 그를 위해 대부분의 노력을 투여한다는 것이다. 현상의 창조가 실험자의 주된 일이라면 도구의 개선은 현상의 창조를 가능하게 하는 가장 중요한 관건이라고 본다. 그리고 일단 만들어져 효과를 발휘한 도구는 다른 실험에도 채용되어 과학문화를 크게 바꾸어 놓는다고 주장한다.

실험은 늘 가설을 시험하는 역할을 해야 하고 이 역할이 실험의 주된 기능이라고 볼 수 있는가? 이 질문과 관련하여 실험이 이론 선택에 중요한 기여를 하는 경우가 있다는 점을 물론 인정할 수 있다.¹⁾ 하지만 이론 선택이라는 목적은 실제 실험에서 드물게 나타난다. 쿤(Thomas S. Kuhn, 1970)의 용어를 빌릴 때, 정상과학적 실험이라고 이름 붙일 수 있을 실험이 훨씬 일반적인 유형의 실험이다. 비 시험 목적의 실험은 과학의 실천의 상당 부분을 차지하고 있다. 즉 실험이 경쟁하는 이론 가운데

1) 실험 결과에 의한 이론 시험이 합리적인 방식으로 일어날 가능성을 옹호하는 논의에 대해서는 이상원(2002b)을 참조할 것.

하나를 반드시 선택하는 임무를 일반적으로 지녀야 하는 것은 아니다. 이러한 견해는 과학의 실제 진행 양상을 주의 깊게 본다면 알기 쉬운 이야기이다. 그러나 전통적 과학철학적 논의에서는 이러한 점이 간과되어 왔다. 즉 전통적 과학철학 논의에서는 이론과 증거 간의 논리적 관계에 관심의 초점이 제한적으로 맞추어져 있었기에, 실제 실험의 구체적인 상황에서 나타나는 여러 가지 요소가 주목받지 못했다. 이론 시험 실험의 경우, 가설이 먼저 있고 이 가설을 시험하기 위해 실험을 하게 된다. 하지만 실험의 목적이 가설에 대한 시험에 국한되지는 않는다.

반대의 경우가 있다. 뢰트겐(Wilhelm Conrad Röntgen)은 1895년 이상한 선(ray)을 발견했다. 그것은 뢰트겐선 혹은 X선으로 알려지게 된 선이다. 뢰트겐선은 그 이후의 원자 이하의 세계를 다루는 과학에 커다란 영향을 끼쳤다. 그러나 이 선의 발견은 가설의 시험과는 관련이 없었다. 가설과 무관하게 실험적 발견이 이루어진 경우이다. 오히려 뢰트겐선이 발견되자 과학자들은 이 선의 발생과 속성에 대한 ‘이론적 설명’을 추구하게 되었다.

실험의 목적과 관련한 자율성과 관련하여, 실험의 ‘이론 야기적’(theory-generating) 성격에 대해 논의하기로 한다. 마이컬슨의 실험(Albert A. Michelson, 1881)은 ‘사실 획득 실험’²⁾(fact-acquisition experiment)의 성격을 지닌다. 이 실험은 특히 사실 획득 실험에 속하는 ‘이론 야기 실험’으로서의 성격을 보여준다. 즉 이 실험은 ‘새로운 이론으로 설명해야 할 주목할 만한 실험 결과’를 산출했던 것이다.

관찰자가 지구 위에서 빛의 속도를 잴 때, 빛의 속도가 지구의 이동 경로에 상대적으로 다르게 나타나는 결과를 보여주어야 한다고 마이컬슨이 믿었음은 물론이다. 그에게 에테르(ether)는 당연히 실재하는 이론적 존재자(theoretical entity)였고, 의심의 대상이 전혀 아니었다. 그는 쿤이 이야기하는 정상과학적 상황에서 문제풀이 활동을 하고 있었다고 할 수 있다. 에테르의 실재성을 기초로 하는 고전 전자기 이론 자체에 대해서는 전혀 의심을 하지 않는 상황에서 빛의 속도를 보다 정확히 측정해 내려

2) 이상원(2002a)은 실험을 ‘사실 획득 실험’과 ‘이론 시험 실험’으로 양분하여 이해한다. 이론 야기 실험은 사실 획득 실험의 특수한 경우이다.

기법과 측정 도구를 발전시키려는 의도를 지닌 채 실험을 계속해 갔다.

마이컬슨의 1881년 실험 결과는, 빛의 속도가 지구의 이동 경로에 따라 다르게 나타나지 않는 결과, 즉 지구의 운동 방향에 따른 빛의 이동 경로에 상관없이 일정한 결과로 나왔다. 예상과 달리, 간섭무늬의 이동이 없었던 것이다. 로렌츠(Hendrik Antoon Lorentz)는 마이컬슨의 실험에서 오류를 찾아냈고 실험 결과에 대한 해석에 관해서 의심했다. 로렌츠의 이런 부정적 반응과 의혹 그리고 레일레이(Rayleigh)의 권유와 격려로 마이컬슨은 실험을 반복하기로 결심한다.

마이컬슨은 1887년 실험에서 당시에 그가 근무하던 미국 오하이오 주 클리브랜드에 소재한 대학(Case School of Applied Science) 근처에 있던 웨스턴 리저브 대학(Western Reserve University)의 화학자 물리(Edward W. Morley)와 협력했다(Michelson and Morley, 1887). 두 사람은 실험에서 1881년의 포츠담 실험과 똑같은 실험 노선을 따르되, 간섭계를 새로이 개량했다. 교란 효과를 극소화할 수 있도록 그들은 도구를 매우 세밀하게 설계했다.

그러나 이번 실험에서도 고전적 에테르 이론을 의심케 하는 결과가 나왔다. 1887년 두 사람이 행한 새로운 실험에서도 또다시 부정적인 실험 결과가 나타났던 것이다. 이 실험은 같은 해 11월에 출간되었다. 그 실험의 부정적인 결과는 두 사람은 물론 레일레이, 로렌츠 모두에게 실망스런 일이었다.

실험의 부정적 결과는 실망스러웠지만 이번 실험 후에 바뀐 중요한 사실은 ‘실험 결과 자체가 수용’되었다는 점이다. 또한 이는 결국 에테르 이론에 결함이 있다는 점을 인정하게 했다. 로렌츠는 1887년 실험 결과를 소위 ‘수축 가설’(contraction hypothesis)을 제기하여 구제하려 했다. 그는 에테르를 버리지 않으면서, 마이컬슨의 실험 결과도 수용할 수 있는 새로운 형태의 에테르 이론을 세우려 했던 것이다. 피츠제럴드(George Francis Fitzgerald)도 독립적으로 이 같은 이론적 작업을 수행했다. 즉 마이컬슨-몰리 실험은 로렌츠와 피츠제럴드의 수축 가설을 불러일으키게 했다. 따라서 로렌츠와 피츠제럴드의 이론에 대해서, 마이컬슨-몰리 실험은 이론 야기(theory-generating) 실험이었던 것이다.

4. 도구쓰기의 자율성

갤리슨(Peter Galison, 1987)은 현상이나 실험 목적의 다양성보다는 도구의 생명에 주목한다. 그는 ‘실험은 이론에 지배되지 않는 그것 고유의 생명’을 갖는다는 해킹의 모토에 화답하면서, ‘도구는 그것 고유의 생명을 갖는다’고 주장하고 있다. 실험의 과정에서 도구가 그저 부수적으로 사용된다기보다는 오히려 실험의 과정 전반이 도구에 의해 역으로 영향 받거나 심지어는 구속된다는 것이다. 예를 들어 어마어마한 비용과 노력을 필요로 하는 장치를 바꾸기란 간단치 않으며, 실험의 내용과 범위는 기존에 도입되어 있는 장치에 의해 정해지는 경우가 많다는 시각이다. 갤리슨은 어떤 도구와 관계되었던 특정의 이론 혹은 실험 목적이 사라진다고 해서 그 도구도 함께 사라지는 것은 아니라고 말한다. 따라서 이러한 도구쓰기와 관련하여 나타나는 실험의 자율성을 언급하지 않고 자율성의 논의를 충실하게 하기는 어렵다.

마이컬슨 실험은 이러한 의미의 자율성의 모습도 잘 보여준다. 이 실험을 통해 도구 개발과 기법 개발의 측면에서의 자율성을 적절히 이해할 수 있다. 마이컬슨이 그의 도구를 설계하는 데서 이론 독립적 성격이 드러난다. 실험의 성공의 중요한 관건 가운데 하나가 바로 실험의 ‘설계’이다. 설계는 창조적 착상에 의해 이루어진다. 빛의 속도와 관련된 측정 작업에서 마이컬슨은 멋진 착상을 했다. 그 착상은 비교적 단순했다.

간섭계를 채용한 실험은 맥스웰(James Clerk Maxwell)이 불가능하다고 한 실험을 가능케 한 실험이었다. 마이컬슨이 그의 간섭계를 세우게 되는 데는 일정한 이론적 맥락이 존재했다. 이른바 ‘맥스웰의 이차 항’이 마이컬슨 실험이 시작되는 데 주요한 계기로 작용했다. 마이컬슨이 행한 일련의 빛의 속도 측정 실험 가운데 1881년 실험은 맥스웰의 한 논문에 담겨 있던 내용과 관계가 있다. 마이컬슨이 에테르와 관련한 실험을 하게 된 것은 맥스웰이 이야기한 한 이론적 내용으로부터 자극받았던 것이다. 한 때 맥스웰은 지금도 출판되고 있는 □브리태니커 백과사전□(*Encyclopedia Britannica*)에 항목 기사의 일부를 썼다. 1878년 □브리태

니커 백과사전□9권에 실린 “에테르” 항목 속에서 맥스웰은 에테르 속을 통과하는 지구의 운동 상황에서 빛의 속도 측정은 ‘지상에서’ 행하는 실험으로는 그 효과를 탐지하기가 불가능하다고 결론 내렸다. 그는 그가 쓴 항목 기사에서 에테르에 대한 지구의 상대 운동 효과는, 빛의 속도를 c 라 하고 지구의 이동 속도를 v 라 할 때, (v/c) 의 이차 즉 $(v/c)^2$ 의 수준에서 나타나기 때문에 이는 측정해 내기에는 너무나 작은 값이라고 이야기한 바 있다. 즉 에테르에 대한 지구의 상대적 운동의 효과는 존재할 것이고, 그 값을 수학적으로 계산해 낼 수 있지만, ‘실제로 측정을 통해 그 값을 얻어낸다는 것은 불가능하다’는 견해이다.

v 를 태양 둘레를 지구가 공전하는 속도로 취하면 $v \approx 3 \times 10^4$ m/초 = $10^{-4}c$ 이고 $(v/c)^2 = 10^{-8}$ 이 된다. 이 경우 c 값은 너무나도 작기 때문에, 맥스웰의 이러한 이론적 설명에 따르면 이 값을 잴 수 있는 실험적 방법은 없다. 따라서 맥스웰은 지구의 에테르에 대한 상대 운동 효과를 ‘경험적으로’ 알아낼 수 없다고 보았던 것이다.

이차 항 $(v/c)^2$ 을 포함한 식과 관련하여 빛의 속도를 지상에서 측정해 내는 일은 불가능하다고 맥스웰은 이야기했다. 마이컬슨은 맥스웰의 이 주장을 분명히 인지하고 있었다.³⁾ 그러나 그는 맥스웰의 주장에 동의하지 않았다. 마이컬슨은 맥스웰의 이차항에 대한 논의에서 제시된 지상에서의 빛의 속도 측정 불가 주장을 극복할 수 있는 기발한 착상을 발전시켰던 것이다. 그는 빛의 속도 자체를 측정함으로써 에테르에 대한 지구의 상대 운동 효과를 확인할 수 없음은 인정했다. 하지만 다른 방식의 확인 가능

3) 맥스웰의 이런 견해가 제시된 후 다음과 같은 일이 있었다. 맥스웰은 워싱턴에 있는 항해연감사무국(Nautical Almanac Office)의 주요 인사인 토드(David Peck Todd)에게 목성계에 대한 자료를 의뢰해서 받아보게 되었다. 이에 대한 답례로 맥스웰은 그가 □브리태니커 백과사전□에 썼던 기사와 특히 지상 실험의 이차 항 효과를 재차 언급하는 감사 편지를 보냈다. 이 편지를 쓴 후 맥스웰은 8개월을 채 못 살고 타계했다. 맥스웰이 죽은 후 그의 편지는 영국의 런던왕립학회 간사에게 전달되었고 1880년 1월 29일 《자연》(Nature)에 출간되었다. 마이컬슨의 포츠담 실험이 《미국과학저널》(American Journal of Science)에 실린 것은 1881년 8월의 일로서, 맥스웰의 편지가 출판된 지 ‘일 년 반’이 지나고 나서였다.

성이 실제로 존재할 수 있다고 보았다. 그것은 특수한 실험의 설계에 의해 가능한 일이었다. 마이컬슨은 아래와 같은 장치를 고안했다. 이른바 ‘마이컬슨 간섭계(interferometer)’로 불리는 장치가 그것이다. 이 장치는 기본적으로 빛의 방향에 따른 운동 거리 차이를 드러내게 해주는 장치였다. 빛을 둘로 나누어 한 빛은 지구의 운동 방향과 같은 방향으로 빛을 움직이게 하고, 다른 하나의 빛은 지구의 운동 방향과 수직하게 움직이게 한다. 이때 빛의 경로 차가 존재한다면, 두 빛은 관찰 지점에서 간섭을 일으킬 것이라는 착상이다. 이는 기본적으로 빛의 상대 속도를 측정하는 실험이다. 이 설계가 1881년 실험에 채용한 설계이다.⁴⁾

실험의 자율성과 관련하여, 마이컬슨 실험은 ‘이론적으로 실험이 불가능하다고 지적된 실험을 실제로 해냈다’는 측면에서 매우 중요하며 이 사례는 도구쓰기의 본성을 적절히 보여주는 사례이다. 마이컬슨은 맥스웰처럼 높은 수준의 전자기 이론에 정통한 이가 아니었음에도 불구하고, 맥스웰이 불가능하다고 한 실험을 구현해 냈던 것이다. 이론적 수월성과 실험적 수월성은 반드시 일치하지 않는다. 도구를 세우는 데 반드시 이론에 능통해야 하는 것은 아니라는 것이다.

마이컬슨의 지적 경력은 우리가 흔히 갖게 되는 과학자의 이미지와는 약간 다르다. 그는 미국 해군사관학교를 나왔다. 일반 대학 출신이 아니었다. 또한 거기서 교관을 지냈으며, 박사학위 과정도 밟았다. 해사에 교관으로 근무하다가 미국을 잠시 떠나 독일의 베를린에 있던 헬름홀츠실험실에서 연구를 하던 마이컬슨은 맥스웰의 편지를 읽었다.⁵⁾ 이미 빛의 속도 측정 전문가로 인정받고 있던 마이컬슨은 맥스웰이 지상에서 수행되는 실험의 정확성을 낮게 평가했다고 결론 내렸다. 마이컬슨은 바로 이 문제에 깊은 관심을 지녔던 이의 하나였다. 실험가는 이론가가 예측하지

4) 맥스웰이 이야기 한 이차 항 효과를 측정하기 위해 베를린에서 마이컬슨이 설계한 도구가 바로 ‘마이컬슨 간섭계’이다. 처음에 마이컬슨은 베를린에서 실험을 시도했으나 도시의 진동 때문에 실험이 불가능하다고 판단 내리게 된다. 그래서 마이컬슨은 도시의 진동이 민감한 간섭계에 영향을 주는 것을 피하기 위해 포츠담 근처에 있는 천체물리관측소(Astrophysisches Observatorium)에서 실험을 수행한다. 그것이 1881년 실험이다.

5) 주3)을 참조할 것.

못하는 자연의 행동을 통제하는 방법을 발명, 구사할 수 있거나 예측한 사실을 극복할 수 있다.

과학철학자들은 흔히 이론 교체의 상황에서 실험이 하는 기능에 대해 관심을 갖는다. 그런데 실제로 실험가들이 이론 교체의 상황에 처하는 경우가 많지는 않다. 즉 과학혁명의 분위기 속에서보다는 오히려 쿤이 이야기한 정상과학적 상황에서 실험을 하는 것이 일반적이다. 이때 그들은 이론 교체의 상황에서 한 이론을 받아들이고 다른 이론을 버리는 데 필요한 증거를 얻기 위해 실험을 하기보다는, 그들이 자신의 탐구 영역에서 일상적으로 해온 실험을 관성적으로 해내게 된다.

마이컬슨이 한 실험의 경우도 이러한 실험의 구도에서 크게 벗어나지 않는다. 그는 빛의 속도 측정이라는 문제 자체에 큰 흥미를 갖고 있었다. 그는 빛의 속도 측정에 요구되는 각종의 기법과 방법의 발명, 개선에 관심이 있었으며, 특정한 광학-전자기 이론을 옹호하는 데 열의가 있었던 것은 아니었다. 그는 그가 1881년 실험을 하기 오래 전부터 관심을 갖고 해오던 빛의 속도 측정 실험을 잇달아 수행해 내고 있었던 것이다. 또한 그는 이 실험 말고도 빛과 관련된 많은 실험을 그의 생의 거의 마지막까지 계속했다.

5. 이론에 의한 실험의 구속

실험은 기술(techniques)이고 숙련(skills)이다. 그리고 도구는 기계이고 그 기계가 효과를 일으킨다. 도구를 세울 때 이론이 들어간다. 또는 실험 자료를 해석할 때 이론이 요구된다. 이러한 국면에 대한 토의를 위해 메이요의 ‘오차 통계학’ (error-statistics)(Mayo, 1996; 이상원, 2005)과 이상원의 ‘중간 이론’ (intermediate theories)과 ‘이론망’ (theory networks)에 대한 논의(이상원, 2003)를 이용할 것이다.

실험의 일련의 과정을 구성하는 도구의 제작, 실험 자료의 산출, 자료의 해석에는 이론이 개입된다. 메이요가 제기하는 오차 통계학은 실험자가 어떤 종류의 ‘자료’는 신뢰하게 되며, 어떤 자료는 믿을 수 없는지에

대해서 자세히 논의한다. 오차 통계학은 현재 발전시키고 있는 이론 또는 시험할 이론과 자료를 대비시킴으로써, 어떻게 이론의 입증(confirmation)이나 시험(testing)이 가능하게 되는지를 이해하도록 해준다. 그것은 구체적 실험에서 자료를 어떻게 처리하고 해석하느냐의 문제를 다루는 일에 아주 가까이 있는 분야이다. 메이요의 오차 통계학적 작업은 다양한 목표를 지닌다. 특히 ‘진정한 효과’(real effects)와 ‘인공물’(artifacts) 구별하기, 그리고 ‘엄밀한 추정값’ 얻기에 메이요의 논의가 집중되어 있다. 엄밀한 추정값을 얻는 데에 어떠한 ‘통계적 이론’을 합리적으로 사용할 수 있는지에 초점을 맞춘다. 이를 위해 메이요는 네이만-피어슨(Neyman-Pearson) 방법, 특히 오차 확률(error probabilities) 개념을 흡수하여 사용한다.

이상원은 실험이 이루어지도록 도와주는 이론을 ‘중간 이론’, 즉 ‘도구 이론’(instrument theories)과 ‘해석 이론’(interpretation theories)으로 분류하고 있다. 도구와 현상의 해석에 대한 이론뿐만이 아니라 도구의 사용과 현상의 해석을 고수준 이론과 연결시키기 위한 이론들이 중간 이론에 해당한다. 실험을 가능하게 해주는 모든 그 같은 이론이 중간 이론이다. 또한 이상원은 시험될 이론과 실험에 개입하는 이론들의 상호 연관 구조를 파악하는 틀을 ‘이론망’이라 부른다. 이 이론들이 주로 도구의 설계, 실험의 배치와 시행, 자료의 해석과 주로 관계됨은 물론이다.

메이요의 오차통계학적 과학철학과 이상원의 중간 이론과 이론망에 대한 견해는 실험의 이론적 구속의 구조와 성격을 보여주는 모형이라고 할 수 있다. 실험의 진행이 이처럼 이론에 의해 여러 수준에서 강력하게 구속된다면, 이와 같은 논의는 이른바 실험의 이론으로부터의 자율성의 관념과는 어떤 관계를 갖게 되는 것인가? 배치되는가, 아니면 양립하는 측면을 지니는가? 실험의 구속요인으로서의 이론에 대한 강조는 실험철학자들이 많이 이야기하고 받아들이고 있는 실험의 자율성에 배치되는 혹은 반하는 주장을 하는 것이 아닌가?

이론은 실험을 구속한다. 오차 통계학적 이론과 중간 이론은 그 대표적인 경우이다. 그런데 여기서 구속의 의미는 실험을 방해하거나 막는다는 의미에서의 구속은 아니다. 이론에 의한 구속이란 실험이 적절한 방식으

로 성립 가능하도록 도와준다는 의미의 구속이라고 말할 수 있다. 따라서 오차 통계학적 이론과 중간 이론에 대한 주장은 실험의 자율성과 양립 불가능한 관념을 담고 있지는 않다.

실험의 자율성의 관념에 대한 오해가 존재할 수 있다. 그 오해는 실험이 거의 전적으로 이론과 절연된 채 계획되고 실행된다는 주장으로서의 실험을 자율성을 받아들이는 경우에 발생한다. 이상원이 특히 관심을 갖고 비판하고 있는 이론이란 전통적 과학철학에서 많이 다룬 이른바 ‘고수준’ 이론(high-level theory)을 말하는 것이다. 고수준 이론은 형식화되고 추상적인 이론, 예를 들면 양자역학과 같은 이론을 말한다. 이론이 ‘구속요인’ (constraints)으로 작용하는 대부분의 경우에서 그 이론은 원래의 시험하고자 하는 가설로서의 이론이나 고수준 이론이 아니라 ‘이미 확립된’ 이론이거나 낮은 수준의 경험적 이론들이다.

자율성이라는 표현을 직접 사용하여 자율성을 둘러싼 논쟁을 보다 뚜렷이 취급한 이는 갤리슨이다. 그는 ‘실험의 자율성’ (experimental autonomy)이란 표현, 특히 ‘부분적’ 자율성(partial autonomy)이란 표현을 쓴다. 갤리슨은 그의 책(Galison, 1987)에서 세 가지 실험을 분석했는데, 세 실험 모두가 이론, 실험, 도구 간의 상이한 관계를 갖는다는 점을 보여주었다. 여기서 알 수 있는 것은 실험의 자율성은 실험의 요소 간의 일방적이고 단일한 관계에 대한 비판이라는 점이다. 즉 그는 이론과 실험 중 어느 하나가 다른 것에 대해 우위에 있다고 말할 수 없다고 본다. 실험과 이론은 위계 관계가 아니라 다양한 수준의 결합 형태를 갖고 있다고 주장한다. 이는 실험이 특정한 요소, 특히 이론에 의해 철저하게 묶인다는 점을 부정하는 시각이라고 할 수 있다. 그러므로 갤리슨에게 실험의 자율성이란 실험과 이론의 무관함을 의미하는 것이 아니다.

실험 결과의 수립은 이론을 명백히 요구한다. 가장 완고한 실증주의자를 제외하고는 누구도 그것을 부정하지 않을 것이다. 그러나 “실험은 이론으로부터 빠져나올 수 없다”거나 “실험과 이론은 공생적이다”라는 진부한 문구는 쓸모가 없다. 모호한 형태 심리학은 교조적인 실증주의에 반대하는 효과적인 전술이지만, 실험주의자의 진정한 관심이 세계관의 광역적 변화는 아니다. 실험실에서 과학자의 진정한 관심은 배경 요인들을 제거하거나 적어도 정량화하고, 신호가 상실되는 것을 이해하

고, 체계적 오류를 보정하는 데 있다. 형태 전이의 언어는 20세기 초의 실험물리학의 나날의 실천을 기술하기에는 지나치게 단순하다. 그러므로 고에너지 물리학 실험의 무수히 복잡한 자료 분석을 기술하기 위해서 오리-토끼 그림을 제기하는 것은 더더욱 걸맞지 않는다. 논점은 이론이 들어가느냐 안 들어가느냐의 여부가 아니라, 실험 과정 가운데 어디서 이론이 영향력을 행사하느냐와 어떻게 실험가들이 그들의 기예의 한 부분으로서 이론을 이용하느냐가 되어야 한다. (Galison 1987, p. 245, 강조는 갤리슨의 것)

그는 이론의 개입이 명백하다고 본다. 다만 그 개입의 방식에 대한 견해에서 헨슨(Norwood Russell Hanson) 등과는 매우 다른 견해를 취하고 있다. 이러한 입장에서 갤리슨은 경직된 과학모형을 비판한다.

갤리슨은 1920년대의 논리 실증주의자들이 과학을 관찰 문장(observational sentence) 또는 ‘원초 문장’(protocol sentence)과 연결되는 것에 국한해야 한다고 주장했음에 주목한다. 그에 따르면, 이어 2차 세계 대전 이후로는 포스트실증주의자들이 우세하게 되었고, 이들 중 쿤(Thomas S. Kuhn)과 같은 이는 이론이 토대이고 관찰은 토대 위에 세워지는 상부 구조로 보는데 이 경우 이론의 변화는 관찰의 변화를 의미하게 된다. 갤리슨은 논리 실증주의자들이나 쿤과 같은 이들 양자 모두가 과학을 어느 한 극단으로 환원 또는 수렴시키려 노력했으나, 실제 과학은 그렇지가 않다고 주장한다. 과학의 안정성은 이론과 실험 어느 한쪽으로의 환원이나 수렴에 있는 것이 아니라 이들 사이에 존재하는 다양한 수준의 부분적 결합(piece-wise connection)에 의한다고 보는 것이다. (Galison, 1988a, 526-527)

그는 실험 과학에서는 관찰-이론의 어느 한쪽에 우선성을 부여하는 이자 모형이 아니라 실험-이론-장치의 비단일적인 삼자 관계가 성립한다고 주장한다.(Galison, 1988b) 과학 지식에 대한 이러한 모형은 기존의 그것과는 아주 새로운 것이다.⁶⁾ 갤리슨은 논리 실증주의와 포스트실증주의(post-positivism)가 제시한 과학 모형은 모두 위계적 구조를 강조한 모형이었다고 본다. 논리 실증주의는 관찰적 사실에 강조점을 두었고, 이론

6) 갤리슨의 새로운 과학 모형에 대한 논의로 홍성욱(2004, 50-67)을 참조하면 좋다.

은 그 관찰적 사실 위에 건설되는 상부 구조로 이해되었다. 한편 포스트실증주의 철학에서는 이론이 강조되었다. 예를 들면 관찰의 이론 적재성(theory-ladenness of observation) 논제는 포스트실증주의 철학의 대표적 논변의 하나였다. 갤리슨은 과학의 변화는 이런 환원적이고 위계적인 구조로 적절히 이해되지 않는다고 주장한다. 그는 과학의 모형으로서 관찰-이론의 이자 관계에 기초하는 모형에 회의적 시각을 보여 준다. 즉 관찰과 이론 어느 하나에 강조점을 두는 위계적 모형을 비판한다. 그는 대안으로 ‘실험-도구-이론’의 삼자 모형을 제시하고 있다. 그의 삼자 모형은 위계적 모형이 아니다. 그의 모형에 따르면, 각 역사적 시기에는 이 삼자 사이에 고유한 관계가 존재했다. 이론, 실험, 도구 사이에는 통시적인 일정한 관계가 있을 수가 없다는 시각이다. 이들 삼자 간에는 과학 분야에 따라 서로 다르고, 다양한, 또한 동일 분야 안에서는 시기에 서로 다른, 다중적인 관계가 존재할 뿐이라고 본다.

그는 과학의 안정성이 이론, 실험, 도구 간의 각 시기에 따른 고유한 결합 양식에 기초한다고 주장하는데, 이는 결국 이론, 실험, 도구 간의 관계가 시간 의존적이라는 점, 따라서 이들 간의 관계는 시기에 따라 다른 양상을 보여준다는 점을 강조하는 것이다. 이론, 실험, 도구가 서로 영향을 주고 개입할 수 있지만, 그 영향과 개입의 ‘단일한’ 방식이 없다고 보고 있으므로, 이는 정확히 실험의 부분적인 상대적 자율성을 옹호하는 입장이다.

6. 맺음말

실험의 자율성이라는 말이 반드시 실험의 이론으로부터의 절연이나 완전한 독립을 의미하지 않는다. 따라서 실험의 자율성에 대한 주장과 이론에 의한 실험의 구속성에 대한 주장이 모순되지 않는다. 현상의 자율성, 목적의 자율성, 도구쓰기의 자율성에 대한 주장과 이론에 의한 실험의 구속성에 대한 주장은 서로 배치되는 것이 아니다. 자율성에 대한 주장과 구속성에 대한 주장은 오히려 실험과 이론의 비위계적 관계를 보여주는

주장이 될 수 있을 뿐이다. 여기서 주목해야할 점은 과학에서 이론과 실험의 기여는 시기에 따라 상이하다는 것이다. 이론과 실험은 하나가 다른 하나에 영향을 주지만, 그 영향을 주는 관계가 단순히 하나의 다른 하나에 대한 지배나 종속을 의미하지는 않는다.

앞서 살펴 본대로, 이론과 실험 사이의 일방적 관계에 대한 비판이 이론과 실험의 절대적 분리를 뜻하는 것은 전혀 아니다. 실험과 이론 양자간에 다양한 상호 관계가 존재한다는 주장이 이론적 작업과 실험적 작업의 근본적 독립에 대한 주장이라고 볼 수 없다. 이론, 실험, 도구 간의 부분적 결합에 대한 깰리슨의 주장도 이와 다르지 않다. 그에게 실험의 자율성이란 이론 개입의 전면적 부재 상황이 아니라 이론의 일방적 지배에 대한 비판과 관련된 관점이라고 할 수 있다.

이론은 실험의 주요한 구속요인이라고 할 수 있다. 그러나 이론이 항상 실험적 작업을 철저하게 지배하는 것은 아니다. 반대로 앞서 본 것처럼 실험이 이론을 늘 지배하지도 않는다. 실험의 부분적 자율성과 구속성이란 이론과 실험의 다양한 관계에 대한 주장이다. 이러한 논의를 통해 실험 과학의 실천과 모순되지 않는 실험의 자율성과 구속성에 대한 관점을 제시할 수가 있다.

참고문헌

- 이상원 (2002a), 「실험의 두 역할: 사실 획득과 이론 시험」, □철학□제72집, pp. 273-294.
- 이상원 (2002b), 「실험 결과와 이론 시험」, □과학철학□, 제 5 권, 제 2 호, pp. 27-51.
- 이상원 (2003), 「사실의 스펙트럼: 해석적 실천과 중간 이론」, □철학연구□ 제61집(철학연구회), pp. 147-165
- 이상원 (2005), 「오차 통계학적 접근과 실험적 추론」, □철학□, 제84집, pp. 109-127.
- 홍성욱 (2004), □과학은 얼마나□, 서울: 서울대학교출판부.
- Galison, Peter (1987), *How Experiments End*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Galison, Peter (1988a), “Philosophy in the Laboratory,” *The Journal of Philosophy* **85**: 525-527.
- (1988b), “History, Philosophy, and the Central Metaphor,” *Science in Context* **2**: 197-212.
- Hacking, Ian (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge: Cambridge University Press. [이상원 옮김, 2005□표상하기와 개입하기□, 서울: 한울.]
- Kuhn, Thomas S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: University of Chicago Press. 2nd ed.
- Mayo, Deborah G. (1996), *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Michelson, Albert A. (1881), “The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether,” *American Journal of*

Science, 3rd ser. **22**: 120-129.

Michelson, Albert A. and Morley, Edward W. (1887), "On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether," *American Journal of Science*, 3rd ser. **34**: 333-345; *Philosophical Magazine*, 5th ser. **24**: 449-463.

Autonomy and Constrained Nature of Experimentation: Various Relations between Theory, Instrument, and Experiment

Sangwon Lee

I will show the significances of experimental autonomy and constrained nature of experimentation. To show that, I analyze, first, meanings of experimental autonomy in the light of 1) phenomenal autonomy, 2) varieties of experimental purposes, and 3) autonomy of instrumentation. Then, I will treat constrained nature of experimentation in view of constraint by some theories. With several concrete cases in scientific activities, I will track meanings of experimental autonomy and constrained nature of experimentation. We will see the autonomy and constrained nature are not opposite concepts. Rather, the two concepts are such that enable us to understand various relations between theory and experiment.

[Key Words] phenomenal autonomy, varieties of experimental purposes, autonomy of instrumentation, constraint by some theories