

【특별기고】

## 상상력의 과학, 과학의 상상력\*

홍성욱 (서울대)

商나라 때만 해도 지금의 하남성에는 코끼리가 대량으로 서식했다. 하지만 이후 삼림의 황폐화와 기후의 변화로 점점 남하하여 지금은 서남쪽의 운남성에서만 서식한다. 코끼리가 중원지역에서 사라지자 그 印象의in 동물을 두고 온갖 想像이 더해진 이야기들이 난무했다. 코끼리가 어떤 모습이었을까? 그 코끼리(象)를 생각(想)하던 것이 바로 ‘想像’이다. 想像을 원래 ‘想像’으로 썼던 이유도 바로 여기에 있다. (『동아일보』 2006. 6. 9.)

### I. 들어가는 말

과학과 상상력이 합쳐질 수 있을까? 적어도 18세기 계몽사상가들에 의하면 이 둘을 합치는 것은 성공할 수 없는, 잘못된 시도였다. 프랑스의 대표적인 계몽사상가 J. 달랑베르는 그가 D. 디드로와 함께 편집한 『백과전서』의 서문 “백과전서 서설”에서 세상에 대한 인간의 이해(understanding)를 기억, 이성, 상상력이라는 인간 정신에 근거해서 크게 세 가지로 구분했다.<sup>1)</sup> 기억의 영역

---

\* 이 논문의 초고는 2009년 3월 25일에 있었던 서울대학교 독일어문화권연구소의 블록세미나에서 발표되었다. 이 자리를 빌려 발표에 대해서 좋은 논평을 해 주신 오순희 선생님께 감사드린다.

에 속하는 이해에는 전쟁사나 정치사 같은 인간사와 생물학의 많은 영역이 포함되는 자연사로 구분되는 역사가 있었다. 이성은 가장 복잡한 지식 체계를 낳는 중요한 정신 능력이었다. 여기에는 지금 우리가 철학과 과학이라 부르는 지식의 대부분이 속해있었고, 논리학도 여기에 속했다. 특이하게도 신학(그가 신에 대한 과학)이라 부른 영역도 여기에 귀속되었는데, 이는 신학이 과학의 상위에서 독자적인 영역을 차지했던 그 때까지의 지식분류체계와 확연하게 다른 점이었고, 인간 이성을 신뢰하고 종교에 대해 비판적이었던 계몽사상가들의 의도가 잘 드러난 부분이었다. 반면에 상상력에 속하는 학문 분야는 많지 않았다. 가장 중요한 영역은 시학이었고, 드라마 같은 문학도 여기에 귀속되었으며, 음악, 미술, 조각 같은 예술도 포함되었다(그림 1).

이성과 상상력의 엄격한 분리, 더 정확하게는 이성에 대한 강조와 상상력에 대한 경시는 『백과전서』의 유명한 표지 그림에서도 잘 나타난다(그림 2). 여기서 베일을 써서 얼굴을 감추고 있는 뮤즈(여신)가 진리를 상징하는데, 독자가 볼 때 그 바로 오른 편에서 손을 뻗어 진리의 베일을 벗기려고 하는 뮤즈가 이성을 나타내고 있다. 그 오른쪽 밑에서 베일을 뉘아채려고 손을 내밀고 있는 뮤즈가 철학이며, 철학의 뒤편에 기억과 역사의 뮤즈가 있다. 이성 밑에서 진리를 받치고 있는 뮤즈들은 물리학, 생물학, 화학, 수학, 농학, 기예 등 의 개별 과학과 기술을 표현하고 있다. 상상력은 진리의 왼편에서 화환을 들고 있는 뮤즈인데, 그녀는 이성이 진리의 베일을 벗긴 뒤에 진리를 치장하는 역할을 담당하고 있다.<sup>2)</sup>

1) Jean Le Rond d'Alembert, *Preliminary Discourse to the Encyclopédie of Diderot*. Trans. Richard N. Schwab (Chicago: The University of Chicago Press, 1995); Robert Darnton, "Philosophers Trim the Tree of Knowledge: The Epistemological Strategy of the Encyclopédie," in *The Great Cat Massacre and Other Episodes in French Cultural History* (New York: Basic Books, Inc., 1984), pp. 191-213. 달랑베르의 기억, 이성, 상상력 범주는 F. 베이컨에게서 빌려온 것이다. 백과전서 운동과 달랑베르와 베이컨의 연관에 대해서는 Richard Yeo, *Encyclopaedic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture* (Cambridge: Cambridge University Press, 2001) 참조.

2) 『백과전서』의 표지그림에 대한 논의로는 Londa Schiebinger, "Feminine Icons: The Face

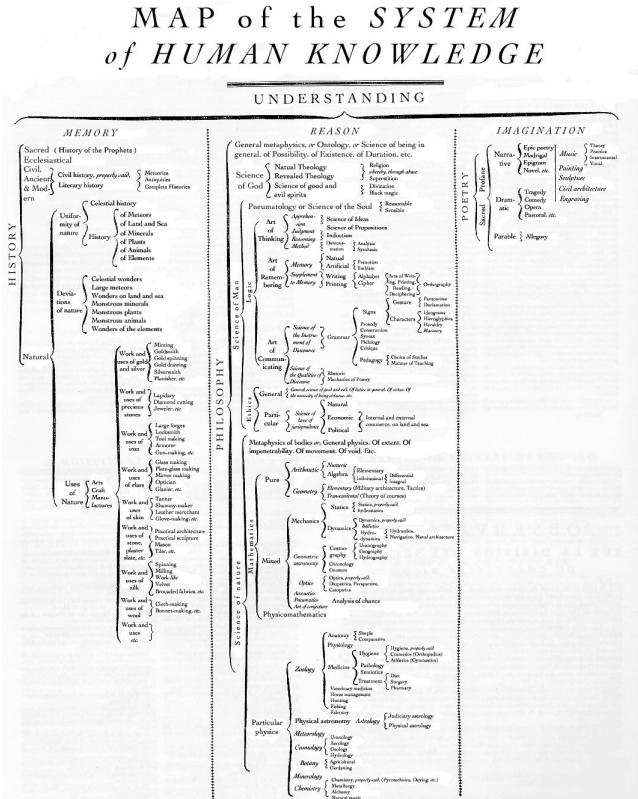


그림 1. 달랑베르의 지식의 체계도. 상상력에 속하는 학문은 문학과 예술 분야로, 이런 분야들은 이성에 속하는 과학과 철학과는 엄격하게 구분되었을 뿐만 아니라 후자에 비해 덜 중요한 것으로 간주되었다. Source: d'Alembert 1995 (주 1 참조), pp. 144-145.



그림 2. 『백과전서』의 표지그림. Source: d'Alembert 1995 (주 1 참조), v.

우리가 상상, 혹은 상상력이라고 부르는 단어는 여러 가지 뜻을 가지고 있다. *Oxford English Dictionary*에 의하면 *imagination*에는 인간 감각에 주어지지 않은 것에 대한 개념을 이미지화하거나 만드는 행위라는 뜻에서, 실제하지 않는 사건이나 행위를 생각하는 정신적인 사고나, 감각으로 알 수 없는 외적 인 대상과 관계에 대한 개념이나 이미지를 생각하는 지적 능력이라는 뜻까지, 조금씩 다른 다양한 의미가 담겨 있다. 우리나라 말에서 ‘상상’의 사전적 의

미에는 실제로 경험하지 않은 현상이나 사물에 대하여 마음속으로 그려 본다는 뜻과, 외부 자극에 의하지 않고 기억된 생각이나 새로운 심상(心像)을 떠올리는 일이라는 뜻이 있다. 여기서 보듯이 상상은 우리의 감각에 직접 주어지지 않은 어떤 것의 이미지를 생각해 낸다는 의미에서 무엇인가를 창의적으로 만든다는 긍정적인 의미를 지니면서, 동시에 없던 무엇을 만든다는 공상이나 망상과 같은 부정적인 의미와도 연결이 된다.

본 논문은 과학에서 상상력의 의미와 중요성을 재평가하기 위해 써어졌다. 이를 위해서 필자는 우선 과학에서 상상력이 낮게 평가된 계기를 역사적으로 살펴보려 한다. 과학적 상상력에 대한 낮은 평가는 17세기 과학혁명기에 등장한 새로운 실험과학에서 시작해서 뉴턴과학에서 정점을 이루었고, 그 영향이 여러 계몽사상가들에게 그대로 드러났다. 이를 보인 뒤에 필자는 이성과 실험에만 기초했다고 알려진 뉴턴 과학의 예를 들어서 과학에서도 상상력이 매우 중요한 요소였음을 보일 것이다. 그리고 17세기부터 20세기 과학에 이르기까지 우리에게 널리 알려진 과학적 발견 중에 과학적 상상력의 역할을 잘 보여주는 여러 사례를 상술한 뒤에, 결론에서는 과학에서 상상력의 의미를 복원하는 것이 과학적 창의성의 온전한 의미를 찾는 데 핵심적인 역할을 할 뿐만 아니라 C.P. 스노가 지적했던 ‘두 문화’(two cultures)의 틈새를 메우는데에도 도움이 될 수 있음을 지적할 것이다.

## II. 17세기 과학혁명과 상상력의 펌하

1980년대 이후 여러 과학사학자들이 잘 보여주었던 17세기 과학혁명기에 나타난 새로운 변화 중 하나는 과학이 실험을 통해 ‘사실’(fact) 혹은 사실이라는 것(matter of fact)을 만든다는 관념이 등장했다는 것이다. 당시 사실은 보통 “추측이나 공상과 반대되는 것으로 실제 관찰이나 진정한 증언에 의해서 제공된 특별한 진실”을 지칭했다. 진공펌프가 만들어낸 진공이라는 현상을 두

고 벌어졌던 보일과 흉스의 논쟁을 상세히 분석한 S. 셰핀과 S. 셰퍼는 실험 과학이 사실을 만든다는 것이 당시 새로운 실험과학자 공동체가 공유했던 ‘게임의 법칙’(rules of game)이었음을 설득력 있게 주장했다. 이러한 게임의 법칙을 수용하지 않았던 흉스는 결국 과학자 공동체에서 축출되었고, 논쟁은 ‘목격자 수를 늘리는 것’ 같은 여러 가지 기술(technology)을 통해서 실험이 진공이라는 사실을 만들어 낸다는 것을 보여주었던 보일의 승리로 마무리되었다.<sup>3)</sup>

실험과 사실을 전면에 내세운 새로운 자연철학은 언어와 대상, 정신과 물질의 연결을 주장했던 17세기 이전의 르네상스 자연철학을 비판했다. 17세기 실험과학자들의 시각에서 보았을 때 르네상스 자연철학에는 신비주의적 자연관을 정당화한 것들이 있었는데, 그 중 대표적인 것이 언어와 대상, 정신과 물질의 연결을 강조한 부분이었다. 이에 따르면 사람들이 어떤 대상의 이름을 말하고 이를 머릿속에 떠올리는 것이 그 대상에게 영향을 줄 수 있었다. 따라서 이름, 즉 말을 잘 이해하는 것이 중요했다. 이러한 자연철학에서는 수사학(rhetoric)이 단지 ‘수사’에 그치는 것이 아니라 실질적으로 자연에게 힘을 가할 수 있는 것이었다. 언어와 대상의 연결은 정신과 물질의 연결로 이어졌고, 신비주의 자연철학자들은 생각하는 것만으로도 몸에 영향을 미칠 수 있고, 병을 치유할 수 있다고 믿었다. 이러한 신비주의 철학자들에게 정신과 물질을 이어주는 힘이 바로 상상력이었다. 이들에게 상상력은 비물질적, 비물리적, 비기계적인 무엇을 의미했고, 정신적이고 심리적인 종류의 신비한 힘이었다.<sup>4)</sup>

- 
- 3) Steven Shapin and Simon Schaffer, *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life* (Princeton: Princeton University Press, 1986). 1660년에 설립된 첫 과학자 단체인 영국 왕립 학회는 그 목표를 다음과 같이 천명했다. “왕립학회의 사업과 목표는 자연적인 것과 유용한 기술과 제조법과 기계적인 실행과 발명품들에 대한 지식을 실험으로써 증진시키는 것이며, (이를 위해서) 종교, 형이상학, 도덕, 정치, 문법, 수사학, 논리학과는 어울려서는 안 된다.” 이에 대한 논의는 Peter Dear, “*Toitus in Verba: Rhetoric and Authority in the Early Royal Society*,” *Isis* 76 (1985), 145-161 참조.
- 4) Brian Vickers, “Analogy versus Identity: The Rejection of Occult Symbolism, 1580-1680,” in Brian Vickers ed., *Occult and Scientific Mentalities in the Renaissance* (Cambridge: Cambridge University Press, 1984), pp. 95-163; Beverly C. Southgate, “‘The Power of Imagination’: Psychological Explanations in Mid-Seventeenth-Century England,” *History of Science* 30 (1992), 281-294.

따라서 실험을 강조하면서 자연에서 신비로운 힘의 존재를 축출하려 했던 17세기 실험철학자들이 상상력을 비판한 것은 당연했다. 실험과학의 철학적 기초를 놓은 F. 베이컨은 상상력 때문에 지적인 비약, 공상, 잘못된 제안이 나온다고 비판했으며, 감각과 이성이라는 두 능력만 적절히 사용하면 자연의 구조를 정확히 표현할 수 있다고 강조했다. 17세기 왕립학회의 창설에 중요한 역할을 했던 J. 그랜빌은 상상력이 불안정하고 근거가 없다고 하면서, 그것이 빠르긴 하지만 현혹되기 쉽다는 점을 알아야 한다고 지적했다. 새뮤얼 고트는 상상력이 우리의 감각을 속이며, 끝없는 불안과 말썽의 원인이라고 비난했고, 철학자 헨리 모어는 “상상력은 새로운 과학이 아니어야 할 모든 것”이라고 하면서, 상상력이 불확실성, 불명료함, 비현실성, 비합리성을 모두 함축하고 있다고 이를 폄하했다.<sup>5)</sup>

R. 데카르트는 과학에서 체계적 의심을 통한 합리적 방법의 사용을 제안했고, 우주의 모든 것이 물질과 운동으로 이해될 수 있다는 기계적 철학을 사용해서 자연으로부터 신비한 힘을 축출한 근대 과학자였다. 그런데 실험철학자들이 보기에는 데카르트의 자연철학도 상상의 요소를 지니고 있었다. 특히 데카르트는 눈에 보이지 않는 미세한 물질이 공간을 꽉 메운 채로 거대한 소용돌이를 만들고 있는 우주를 생각했는데(그림 3), 이러한 우주론에 의하면 태양계는 전체 우주의 일부에 불과했고, 혜성은 마치 서로 다른 구역을 관통하는 강물처럼 서로 다른 우주를 관통하면서 떠돌아다니는 존재였다. 데카르트는 우주에 대한 이러한 관념이 상상력이 아닌 합리적인 이성의 작동을 통해서 얻어진 것이라고 주장했지만, 실험과학자들이 보기에는 이러한 관념은 공상(fancy)적이었고, 사실과 이성의 영역이 아닌 상상력과 꾀선의 영역에 속하는 것이었다.<sup>6)</sup> 17세기 근대 과학에서 상상력이 설 자리는 무척 좁았다.

5) Southgate, “The Power of Imagination”, pp. 286-287.

6) R. Descartes, *The World and Other Writings* tr. and ed. by S. Gaukroger (Cambridge: Cambridge University Press, 1998). 데카르트에 대한 베이컨주의자의 비판은 존 킬(John Keill)에게서 볼 수 있다. 킬은 데카르트가 ‘거친’ 상상력을 사용해서 터무니없고 기묘한 것들을 만들어 냈다고 비판했다. 베이컨주의 관점에서 볼 때 데카르트의 기계적 철학은 실제 세계와는 관련이 없는 형이상학적인 사변에 불과했던 것이다. Southgate, “The Power of Imagination”, on p. 287.

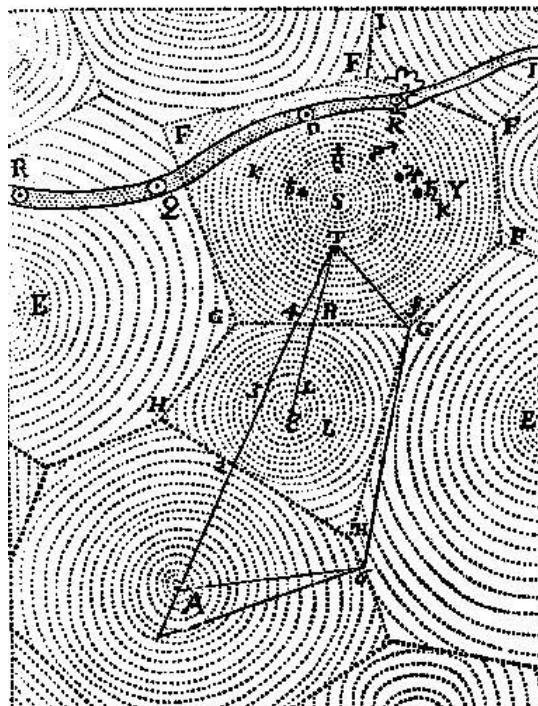


그림 3. 데카르트의 우주 구조. S를 중심으로 한 6개형의 우주가 태양계이고, 그 상단을 걸쳐 흐르듯 운동하는 것이 혜성이다. Source: Descartes 1998 (주 6 참조), on p. 30.

### III. 뉴턴 과학과 사실/상상력의 모호한 경계

달랑베르나 볼테르와 같은 18세기 계몽사상가들은 뉴턴의 영향을 크게 받았다. 이들은 뉴턴 과학이 보편적인 이성과 객관적인 실험의 토대 위에 세워진 과학이며, 따라서 독단과 편견을 비판하고 이를 극복하는 데 좋은 무기가 될 수 있다고 생각했다. 뉴턴은 『프린키피아』 2판(1713)의 “일반주제”(General

Scholium)에서 수학적인 방법을 사용해서 자연현상으로부터 중력과 같은 힘을 유도해내고 이 힘을 사용해서 다른 자연현상을 설명하는 자신의 방법론을 제시하면서, 중력을 낳는 미시적인 메커니즘에 대해서는 “나는 가설을 세우지 않는다.”고 천명했다. 이러한 방법론을 의심하지 않았던 뉴턴의 제자와 추종자들은 뉴턴의 과학이 가설과 상상력을 배제한 채로 수학과 실험의 굳건한 토대 위에 세워진 것이라고 선전했다. 뉴턴 과학의 방법론은 물리학을 넘어서 지성계 전반에 광범위한 영향을 미쳤는데, 일례로 18세기 말엽에 프랑스 사회에서 선풍적인 인기몰이를 하던 메스머의 자기(磁氣)치료를 조사했던 과학자들이 “메스머의 (자기) 유체는 존재하지 않으며, 메스머 치료의 효과는 메스머주의자들의 과열된 상상력의 산물이다.”고 결론지었을 때, 이들은 뉴턴 과학의 정신을 계승하고 있었던 것이다.<sup>7)</sup>

뉴턴이 중력(만유인력) 개념을 사용해서 이를 성과는 놀라웠다. 그에 의하면 지구상의 포탄의 운동에 적용되던 역학과 천상계에서 행성의 운동을 이해하는데 적용되는 천체물리학이 동일한 것이 되었다. 그렇지만 뉴턴의 중력은 17세기 과학혁명기 동안의 가장 중요한 지적인 흐름과 반대되는 면이 있었다. 17세기 기계적 철학자들은 자기력과 같은 자연의 신비로운 힘의 존재를 부정하고, 이러한 힘의 작용이라고 간주되던 것을 물질과 그 운동을 통해서 기계적으로 설명하려고 했기 때문이다. 기계적 철학자들이 보기에는 뉴턴의 중력은 이들이 자연철학에서 몰아내려고 힘겹게 싸웠던 바로 그 신비한 힘을 다시 자연철학에 도입한 것에 다름 아니었다.<sup>8)</sup> 따라서 뉴턴의 만유인력이 18세기 자연철학자들에게 수용된 과정은 결코 순탄하기만 했던 것은 아니었다. 처음에는 소수의 영국의 뉴턴 추종자들이 이를 수용해서 전파했고, 시간이 지나면서는 프랑스나 독일의 자연철학자들도 뉴턴의 중력을 서서히 받아들였다.<sup>9)</sup>

7) Alexandre Koyré, “The Significance of the Newtonian Synthesis,” in Alexandre Koyré, *Newtonian Studies* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1965), pp. 3-24. 메스머주의는 Laurence J. Krimayer, “Toward a Medicine of the Imagination,” *Lew Literary History* 37 (2006), 583-605, esp. on p. 586에서 인용.

8) 뉴턴의 중력을 포함한 힘 개념의 역사에 대해서는 Max Jammer, *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957) 참조.

뉴턴이 1713년에 출판된 『프린키피아』 2판에서 자신의 과학 방법론을 상세히 서술하고 자신의 과학이 가설을 배제한 것이라고 천명한 시점도, 뉴턴의 속적이었던 독일의 라이프니츠가 중력이라는 힘을 사용하지 않고 기계적으로 행성의 운동을 기술하는 역학체계를 주장한 직후였다. 뉴턴과 그의 추종자들은 자신들과 경쟁하던 기계적 철학이 소용돌이와 같은 가설에 근거함에 비해서 자신들의 자연철학은 관찰과 실험의 기반 위에 서 있다고 주장했다. 반면에 데카르트 주의자들이 보기에는 오히려 뉴턴의 중력이야말로 상상력의 산물이었다. 중력은 실험적으로 입증할 수 없는 가공의 존재이며 자석과 같이 눈에 보이는 힘을 모든 멀리 떨어져 있는 두 물체로 확장한 것에 불과했다.<sup>10)</sup> 18세기와 19세기를 거치면서 뉴턴 역학의 물리적 의미를 수용하기 힘들어했던 과학자 중에서는 뉴턴의 힘 개념 없이 물체와 천체의 운동을 기술하려고 노력했던 자들이 나타나기 시작했다. 18세기 프랑스의 라그랑주 같은 수학자, 19세기 영국의 켈빈경(Lord Kelvin)이나 독일의 H. 헤르츠 같은 물리학자들 모두 중력이라는 힘을 사용하지 않은 역학체계를 발전시켰다. 물론 중력 개념을 받아들이지 않고 대안적인 체계를 발전시킨 가장 유명한 사례는 아인슈타인의 일반 상대론이었다.<sup>11)</sup>

9) 뉴턴 과학의 수용에 대해서는 많은 연구가 있다. 영국, 프랑스, 유럽 대륙의 뉴턴 수용은 Larry Stewart, *Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992); A. R. Hall, "Newton in France, a New View," *History of Science* 13 (1975), 233-250; H. Guerlac, *Newton on the Continent* (Ithaca: Cornell University Press, 1981)를 각각 참조.

10) 뉴턴 과학이 프랑스 지성계에 불러 일으킨 논쟁과 이 논쟁의 맥락에서 계몽사조를 이해하려는 시도는 J. B. Shank, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment* (Chicago: University of Chicago Press, 2008)을 볼 것.

11) 힘이라는 개념을 제거한 채로 뉴턴 역학을 재구성하려던 노력에 대해서는 Clifford Truesdell, "A Program Toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason," *Archive for History of Exact Sciences* 1 (1960), 1-36; Craig Fraser, "J. L. Lagrange's Early Contributions to the Principles and Methods of Mechanics," *Archive for History of Exact Sciences* 28 (1983), 197-241; Crosbie Smith and M. Norton Wise, *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989); A. S. Sant'Anna and C. Garcia, "Gravitation in Hertz Mechanics," *Foundations of Physics Letters* 16 (2003), 565-578 등의 연구가 있다.

뉴턴 과학은 진정으로 상상력과는 무관했고 뉴턴이 말했듯이 논리적인 이성과 사실을 만드는 실험에만 의존했는가? 뉴턴이 관찰과 실험을 적극적으로 사용한 것은 천체물리학보다는 광학이었다. 그런데 이 광학 분야에서 뉴턴의 과학적 상상력이 중요한 역할을 했음을 잘 볼 수 있다. 뉴턴은 대학생 시절인 1665-66년에 프리즘 실험을 하다가 기존의 빛과 색깔에 대한 이론과는 전혀 다른 형태의 이론을 고안해 냈다. 그는 1669년에 케임브리지대학교의 수학 교수가 된 뒤에 광학에 대해 강의를 했으며, 1672년에 그의 첫 논문인 빛과 색깔에 대한 연구를 왕립학회의 『철학회보』에 출판했다. 이 논문은 격한 논쟁을 불러 일으켰고, 그는 1675년에 광학에 대한 또 다른 논문을 낸 뒤에 오랫동안 침묵을 지키다가, 1704년에 그간의 연구를 집대성해서 그의 두 번째 물리학 저술인 『광학』을 출판했다.<sup>12)</sup>

빛에 본질에 대한 논의를 제외하면, 빛과 색깔에 대한 뉴턴의 이론은 지금 우리가 알고 있는 광학이론과 크게 다르지 않다. 태양광선과 같은 백색광은 빨강, 노랑, 파랑 등 갖가지 색깔을 가진 단색광의 혼합체이며, 이 각각의 색에 해당하는 단색광은 서로 다른 굴절률을 가지고 있는 것이었다. 그렇기 때문에 백색광이 프리즘을 통과할 경우, 각각의 서로 다른 굴절률을 가진 단색광들이 서로 다른 각도로 굴절되어 길쭉한 스펙트럼을 만들어내는 것이었다. 뉴턴은 이러한 색광들이 작은 입자로 이루어졌다고 간주했다. 뉴턴의 빛의 입자설은 18세기 내내 정설로 받아들여지다가, 19세기 초엽의 영국의 토머스 영과 프랑스의 프레넬에 의해 비판되면서 파동설로 대치되었다. 빛의 파동설은 20세기 초에 아인슈타인에 의해 빛의 광량자(photon)설이 등장하기까지 다시 100여 년간 정설로 받아들여졌다.

뉴턴은 어떤 실험을 하다가 백색광이 굴절률이 다른 여러 단색광의 혼합이라는 결론에 도달했던 것일까? 그의 첫 실험은 빨간색과 파란색을 반반씩 칠한 실을 프리즘을 통해 보았을 때 이 실이 마치 중간에서 끊어진 것처럼 보

12) Dennis L. Sepper, *Newton's Optical Writings: A Guided Study* (Rutgers University Press, 1994). 『광학』의 출판 과정에 대해서는 Alan E. Shapiro, "Twenty-Nine Years in the Making: Newton's *Opticks*," *Perspectives on Science* 16 (2008), 417-438를 볼 것.

인다는 것이었다. 왜 이런 결과가 나올까? 빛의 본질이 무엇이고 색깔의 본질이 무엇이길래, 그리고 프리즘이 어떤 역할을 해서 이런 현상이 만들어질까? 그러나 빛의 본질은 물론이고 프리즘 내에서 일어나는 일도 눈으로 관찰이 불가능했다. 결국 그가 고민했던 것은 눈에 보이는 실험 결과에서 눈에 보이지 않지만 설득력 있는 원인을 발견해 내는 것이었다. 뉴턴은 계속되는 실험을 하다가 이 문제를 해결하는 한 가지 단서를 발견했다. 그를 해법으로 인도한 관찰은 동그란 원형인 광선이 프리즘을 통과한 뒤에 길쭉한 스펙트럼을 만든다는 단순한 것이었다.<sup>13)</sup>

그의 논증은 다음과 같았다. 원형 백색광의 단면을 잘랐을 때, 거기 빨주노초파남보의 색깔을 가진 원형의 단색광들이 혼합되어 있다고 생각해 보자. 백색광의 빛이 프리즘을 통과할 때 그 안에 섞여있던 다양한 원형 단색광들이 프리즘에서 꺾이는 정도가 조금씩 다르다면, 그 결과는 벽에 여러 개의 단색원들이 죽 늘어진 형태로 투사될 것이다. 간단히 말해서, 중첩되어 있던 여러 개의 카드들을 죽 펼쳐 놓듯이, 색깔들이 죽 늘어나면서 길어진 것이 실험으로 만들어진 길쭉한 스펙트럼이라는 것이었다(그림 4).<sup>14)</sup>

13) 뉴턴의 초기 광학실험과 그의 사고의 발전은 A. R. Hall, "Sir Isaac Newton's Notebook, 1661-1665," *Cambridge Historical Journal* 9 (1948), 239-50; idem., "Further Optical Experiments," *Annals of Science* 11 (1955), 27-43; R. S. Westfall, "The Development of Newton's Theory of Colour," *Isis* 53 (1962), 339-358에서 잘 분석되어 있다.

14) Alan Shapiro, "Experiment and Mathematics in Newton's Theory of Color," *Physics Today* 37 (1984), 34-42. 그림 4는 뉴턴의 『광학』(1704)에서 가지고 온 것이고, 바로 아래에 설명되어 있듯이 여기서 그는 스펙트럼이 빨주노초파남보의 7가지 색으로 이루어졌다고 생각했다. 뉴턴 『광학』(1704)의 일부는 홍성욱 편, 『과학고전선집』 서울대학교출판부 2006, 422-443에서 볼 수 있다.

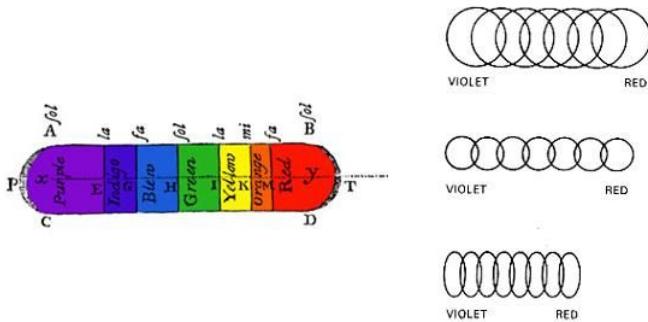


그림 4. 원형의 백색광이 프리즘을 통과한 뒤에는 왼쪽과 같은 길쭉한 모양의 스펙트럼을 만들어 냈다. 이를 설명하는 한 가지 방법은 원래 원형의 백색 광 속에 7가지 색광의 고리가 중첩되어 있다가 그것이 그림 오른쪽에서 보는 것처럼 죽 늘어났다는 식으로 생각하는 것이었다. 이것은 실험 결과가 보여주는 것이 아니라, 가시화(visualization)와 심상(mental imagery)을 사용한 뉴턴의 과학적 상상력이 낳은 결과였다. Source: 뉴턴 『광학』(1704), 435쪽.

이제 첫 번째 실험도 설명이 되는데, 색깔이 다르지만 하나로 이어진 실에 반사한 빛은, 빨강색 실에서는 빨간색만 반사되고 파란색 실에서는 파란색만 반사되었다. 그런데 굴절률이 다른 이 각각의 광선이 프리즘을 통과한 뒤에 서로 다른 정도로 꺾여서, 마치 실이 끊어진 것처럼 보였던 것이다. 눈에 보이지 않는 태양광선 같은 백색광의 빛 속에 이미 색깔을 가진 여러 빛이 섞여 있다고 보는 것, 그것을 얻어낸 핵심적인 과정은 포개져있던 카드를 쭉 펼치는 것 같은 심상(mental imagery)을 만드는 과정에 의해서 얻어졌다. 상상력의 정의를 다시 생각해본다면, 뉴턴이 빛과 색깔에 대한 그의 이론을 얻어낸 과정의 핵심에는 우리가 상상력이라고 불러도 크게 빗나가지 않는, 그러한 이해의 과정이 존재했다.

뉴턴의 광학에서 발견할 수 있는 과학적 상상력의 한 가지 사례만 더 들어보자. 그림 4에서도 보듯이, 우리가 현재 알고 있는 빨주노초파남보라는 7가

지의 기본 색깔은 뉴턴의 스펙트럼과 색채환(color ring)에서 나왔다. 그런데 흥미 있는 사실은 뉴턴이 처음에 광학실험을 했을 때에는 빛의 스펙트럼에 5 가지 색깔만 있다고 보았다가 (주황과 남색이 없었다), 나중에 이를 7가지 색으로 확장했다는 것이다. 그 이유는 음악에서의 음계와 색깔의 유비(analogy) 때문이었다. 한 옥타브를 이루는 음계가 7음 음계이고 그것이 수학적인 조화를 잘 담고 있다고 간주되었는데, 뉴턴은 색깔도 그럴 것이라고 생각했다. 당시에도 그랬고 지금도 그렇지만, 실제로 무지개나 프리즘을 보고 7가지 색깔을 인지하는 사람은 거의 없다. 보통 3가지나 4가지, 아주 많을 때 5가지 색깔을 보는 것이 일반적이다. 7가지 색은 관찰 결과가 아니라, 뉴턴의 유비적 상상력이 만든 ‘사실’이었다.<sup>15)</sup>

뉴턴의 광학이론은 큰 영향을 미쳤고 18세기 내내 주도적인 패러다임의 지위를 획득했지만 비판이 없었던 것은 아니다. 그 중에 가장 널리 알려진 것은 독일의 대 문호였던 괴테의 비판이었다. 괴테는 이탈리아 여행 뒤에 우연히 얻은 프리즘을 가지고 흰 벽을 바라보다가 뉴턴의 이론에서 주장했던 것처럼 흰 벽이 여러 가지 색깔로 보이는 대신, 흰색과 검은 색의 경계에서 다양한 색깔이 만들어짐을 발견했다. 그는 경계에서 색이 만들어진다는 생각과, 다양한 색깔들 사이의 관계에 대한 자신의 이론을 결합해서 광학에 대한 체계적이고 대안적인 이론을 발전시켰다. 그에 의하면 뉴턴의 색깔 이론은 인간이 느끼는 색깔을 제대로 표현하지 못한 것이었다. 괴테는 7가지 기본 색 대신에 빨강 노랑 파랑의 삼원색을 주장했고, 이 각각에 초록 보라 주황이 심리적 보색으로 대응 된다는 6가지 색채환을 제시했다. 빨강이 정열과 흥분, 파랑이 수축과 차분함에 대응한다는 색깔의 심리적 효과를 처음 주장한 사람도 괴테였다.<sup>16)</sup>

19세기 물리학자들은 괴테의 색깔이론을 극렬하게 비판했다. 괴테의 실험

15) Penelope Gouk, *Music, Science and Natural Magic in Seventeenth-Century England* (New Haven and London: Yale University Press, 1999); Peter Pesic, “Isaac Newton and the Mystery of the Major Sixth: A Transcription of his Manuscript ‘Of Musick’ with Commentary,” *Interdisciplinary Science Reviews* 31 (2006), 291-306.

16) Johann Wolfgang von Goethe, *The Theory of Colors* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1970).

은 실험의 기본도 갖추지 못한 것으로 간주되었고, 인간이 느끼는 색깔을 물리적 설명에 통합하려 했던 괴테의 의도는 객관적인 과학을 주관적인 느낌으로 환원한 것으로 간주되었다. 토머스 영 같은 영국 과학자는 괴테를 인간 정신의 ‘도착’(倒錯)을 보여주는 좋은 사례라고 비난했고, 독일의 과학자 헬름홀츠도 괴테가 자신도 잘 모르는 과학의 영역에 뛰어든 것이 그의 생애에 큰 오명을 낳았다고 평가했다. 이러한 과학자들에게 괴테의 색깔 이론은 관찰과 이성이 아닌 상상력이 산물이었다. 그런데 20세기에 들어서 괴테의 색깔 이론에 대한 긍정적인 평가들이 계속 등장했고, 최근에 몇몇 물리학자들은 여러 가지 실험을 통해서 괴테의 이론이 인간이 느끼는 색깔이라는 문제에 대해서는 뉴턴의 이론보다도 더 정확하고 합리적인 것이라는 점을 보여주었다. 근거 없는 상상력과 공상의 산물이라고 간주되었던 괴테의 이론이 오랜 시간이 흐른 뒤에 통찰력 있는 과학적 설명의 지위를 부여받게 되었던 것이다.<sup>17)</sup>

#### IV. 과학적 상상력: 갈릴레오에서 J. C. 맥스웰까지

창의적인 자연 과학의 영역에서, 관찰과 실험 결과가 설명으로 기계적으로 이어지는 경우는 없다. 창의적인 과학자들은 관찰과 실험 데이터를 추상화하고, 조합하고, 해석하고, 다른 요소와 결합시키고, 건너뛰고, 비유하고, 모델을 만들어서 이를 설명하는 가장 좋은 스토리(story)를 만들어낸다. 창의적인 과학은 발견하는 것만从来나 만들어내는 것이다. 우리가 상상력을 감각으로부터 정신적인 이미지를 형성하는 힘, 감각을 빛어서 이 ‘반죽’을 경험의 패턴화된 그림

17) Arthur G. Zajonc, “Goethe’s Theory of Color and Scientific Intuition,” *American Journal of Physics* 44 (1976), 327-333; Dennis L. Sepper, *Goethe contra Newton: Polemics and the Project for a New Science of Color* (Cambridge: Cambridge University Press, 1988); Neil Ribe and F. Steinle, “Exploratory Experimentation: Goethe, Land, and Color Theory,” *Physics Today* (July 2002). 후자의 논문은 웹에서 볼 수 있다. [http://scitation.aip.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol\\_55/iss\\_7/43\\_1.shtml](http://scitation.aip.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol_55/iss_7/43_1.shtml)

안에 집어넣는 힘, 그리고 감각과 세계를 통합함으로써 사물의 비밀을 밝히는 힘으로 정의한다면, 과학적 창의성의 많은 부분은 상상력에 기인한다.<sup>18)</sup>

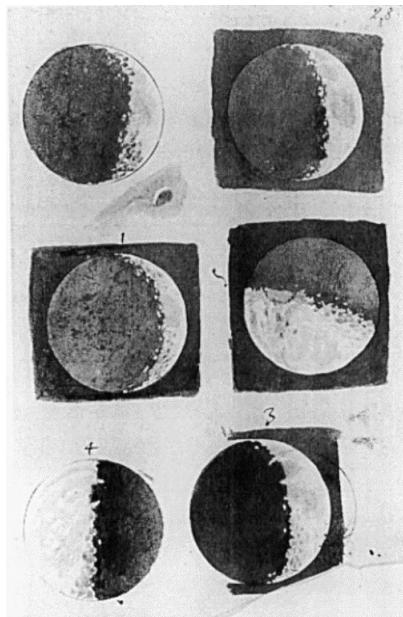


그림 5. Galileo Galilei의 달 스케치. 1609년 11월에서 12월 사이에 이루어진 관찰을 스케치 한 것이다. Source: Galileo Project website  
[http://galileo.rice.edu/images/things/g\\_moonwash.gif](http://galileo.rice.edu/images/things/g_moonwash.gif)

2009년은 천문학의 해였다. 이는 이탈리아 물리학자 갈릴레오가 1609년 망원경으로 달을 관찰하면서 아리스토텔레스의 우주론을 비판하고 코페르니쿠스의 우주론의 정당성을 옹호하기 시작했던 사건의 400주년을 기념하기 위한 것이었다. 그림 5는 갈릴레오가 1609년에 초보적인 망원경을 만들어서 달을 관찰하고 자신이 달의 모습을 스케치했던 것이다. 여기서도 볼 수 있지만 망

18) 상상력의 이러한 정의는 Donald G. Marshall, "Ideas and History: The Case of 'Imagination,'" *Boundary 2* 10 (1982), 243-359 참조.

원경을 가지고 실제로 갈릴레오가 보았던 것은 달의 어두운(그림자) 부분과 밝은 부분을 가르는 경계가 우리 육안으로 보는 것과는 달리 매끈하지 않고 울퉁불퉁하다는 것이었다. 갈릴레오는 그 이유가 달에 산과 분화구, 계곡 같은 요철이 있고, 이런 요철의 그림자가 표면에 비춰진 결과라고 보았다. 갈릴레오 이전까지 달은 아리스토텔레스가 제창했던 천상계와 지상계를 가르는 경계지점에 놓인 존재로, 수정구와 같은 것으로 인식되었다. 이에 대해 갈릴레오는 달이 수정구처럼 흠집하나 없이 미끈한 대상이 아니라 지구처럼 울퉁불퉁하다고 주장했고, 이는 아리스토텔레스의 우주론을 경험적 증거에 입각해서 논박한 것이 되었다.<sup>19)</sup>

우리는 갈릴레오가 망원경을 사용해서 달의 분화구와 산, 계곡 등을 ‘관찰’했다고 생각한다. 그런데 비록 망원경을 사용했지만 갈릴레오는 이런 것들을 직접 볼 수 없었다. 그가 한 작업은 달의 밝은 부분과 어두운 부분을 나누는 경계가 울퉁불퉁하다는 관찰 결과로부터 달에 산이 있다는 것을 추정해 낸 것이었다. 이러한 추정이 쉽고 당연한 것이었을까? 영국의 과학자 토머스 해리엇은 갈릴레오보다 몇 달 일찍 망원경을 사용해서 달을 관찰했는데, 그도 달의 밝은 부분과 어두운 부분을 가르는 경계가 울퉁불퉁하다는 것을 발견했다. 그렇지만 그는 이것이 무엇을 의미하는지를 알아내지 못했다. 해리엇은 1610년에 갈릴레오의 저서 『별의 전령』(*Siderius Nuncius*)에서 인쇄된 달의 분화구 그림을 본 뒤에야 자신이 발견한 것이 달에 산과 분화구가 있다는 것임을 알아차렸다.<sup>20)</sup>

해리엇이 보지 못했던 것을 갈릴레오가 볼 수 있었던 데에는 이유가 있었다. 갈릴레오는 젊었을 때 프로렌스의 디자인(미술) 아카데미에 첫 직장을 잡았고, 나중에는 여기 회원이 되었다. 그는 디자인 아카데미에서 음영법, 원근

19) 갈릴레오 갈릴레이: 『시데리우스 눈치우스』(1610) 장현영 역. 승산. 2004.

20) Mary G. Winkler and Albert Van Helden, “Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy,” *Isis* 83 (1992), 195-217. 여기서는 다루지 않지만 망원경을 사용한 천체의 관찰은 갈릴레오에 대한 최근 수정주의적 재해석의 중심 주제가 되었다. Mario Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit: Telescopes, Images, Secrecy* (Chicago: University of Chicago Press, 2007).

법과 같은 회화의 기초를 배웠고, 그림자의 밝기와 크기를 가지고 원래 사물의 모양을 상상해 내는 방법을 훈련받았다. 그가 유통불통한 경계에서 산과 문화구의 모습을 생각할 수 있었던 데에는 이러한 훈련의 도움이 결정적이었다. 그는 화가의 눈을 가지고 달을 관찰한 뒤에, 상상력을 이용해서 달의 모습을 그려냈다.<sup>21)</sup>

갈릴레오의 상상력은 여기서 그치지 않았다. 갈릴레오는 그림자를 이용해서 달에 있는 산 중에는 그 높이가 4km 정도나 되는 것도 있다는 것을 수학적으로 논증했는데, 이럴 경우에 제기될 수 있는 또 다른 문제를 해결해야 했기 때문이다. 그것은 왜 달에 높은 산들이 많이 있는데 달의 원주는 (망원경으로 보았을 때에도) 면도칼로 자른 듯이 매끈한가라는 것이었다. 그는 두 가지 이유를 생각했다. 첫 번째는 지구의 위치에서 볼 때 달의 원주 주변에 있는 산은 그 봉우리들을 계속 중첩해서 보기 때문에, 전체적으로 평평하게 보인다는 것이었다. 그는 여기에 달 표면 주변에 희박한 애테르 같은 기체가 존재해서, 인간이 바라보는 시각을 꺾이게 해주는 역할을 할 수 있다는 설명을 덧붙였다. 이러한 두 가지 효과를 합치면 원주의 경계가 매끈하게 보이는 것이 설명이 된다는 것이었다. 이것 역시 그의 머릿속에 그려진 ‘그림’이었다.<sup>22)</sup>

상상력은 시각화(visualization)를 통해 작동하는 경우가 많은데, 과학에서 시각화와 밀접하게 연결되어 있는 것이 유비(analogy)와 모델(model)이다. 과학적 상상력의 사례에서 유비가 중요한 역할을 한 경우는 많이 있는데, 여기에서는 테카르트의 광학의 사례를 보도록 하겠다. 앞에서 지적했듯이, 테카르트는 우주가 물질과 운동으로만 구성되어 있으며, 우주는 눈에 보이지 않는 입자로 꽉

21) Samuel Y Edgerton Jr., “Galileo. Florentine “Disegno” and the “Strange Spottedness” of the Moon,” *Art Journal* 44 (1984), 225-32. Eileen Reeves는 갈릴레오가 망원경을 사용하기 이전부터 훈련된 예술가의 눈을 이용해서 달을 관찰했고 달의 삭 전후에 달의 검은 부위에서 볼 수 있는 짙빛의 색깔이 지구에서 간접적으로 반사된 빛에 의한 것이라고 생각했다고 주장했다. 이러한 생각은 지구가 행성에 불과하다는 코페르니쿠스주의를 지지했던 것이었다. Eileen Reeves, *Painting the Heavens: Art and Science in the Age of Galileo* (Princeton: Princeton University Press, 1997).

22) Gerald Holton, “Imagination in Science,” in Gerald Holton, *Einstein, History and Other Passions* (New York: AIP Press, 1995), pp. 78-102.

채워졌다고 보았다. 따라서 입자의 형태를 가진 빛이 빠빠하게 채워진 우주를 거의 무한대의 속도로 운동한다는 것은 설득력을 가질 수 없었다. 이러한 이유 때문에 그는 빛이 물질 입자의 운동이 아니라, 태양이 빠르게 자전하면서 태양 주변에 형성된 직각방향의 압력이 우주 공간을 통해서 순식간에 전달되는 것이라고 파악했다. 테카르트에 의하면 빛은 무게도 없고, 유한한 속도가 아닌 무한대의 속도를 가지고 순식간에 전파되는 압력이었다.<sup>23)</sup>

그런데 이렇게 설명할 경우에 한 가지 문제가 발생했다. 빛이 태양에서 방사형으로 방출되는 압력이라면, 우리는 눈동자에 직각으로 들어오는 압력만을 인식해야만 했다. 그럼 6의 왼쪽의 그림은 태양에서 나온 빛이 우리 눈동자에 들어오는 경로를 설명하고 있는데, 테카르트의 이론에 의하면 여기에서 우리 눈동자 FEG는 태양 ABCD에서 방출된 빛(압력) 중에 BSC에 해당하는 부분, 즉 SBF와 SCG 사이의 압력만을 느껴야 한다. 압력의 효과가 직진하는 경우의 당연한 결과였던 것이다. 그렇지만 우리는 실제로 태양의 모든 면을 볼 수 있다. 즉 태양에서 우리 눈에 직선으로 들어오지 않는 빛인 AB나 CD의 영역에 해당하는 빛도 우리가 일상적으로 감지한다는 문제가 있었던 것이다.<sup>24)</sup>

- 
- 23) Margaret J. Osler, "Descartes's Optics: Light, the Eye, and Visual Perception," in Janet Broughton and John Carriero eds., *A Companion to Descartes* (Oxford: Blackwell, 2008), pp. 124-143. 테카르트의 광학에 대한 논의는 '카메라 옵스큐라'에 대한 논의와 함께 근대적인 시선(gaze)의 본질을 논하는 데 종종 사용되었다. 이에 대해서는 Dalia Judovitz, "Vision, Representation, and Technology in Descartes," in David Michael Levin ed., *Modernity and the Hegemony of Vision* (Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 19930, pp. 63-86.
- 24) R. Descartes, "The Treatise on Light" in *The World and Other Writings* tr. and ed. by S. Gaukroger (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), pp. 54-75; *Discourse on Method, Optics, Geometry, and Metereology*. Trans. Paul J. Olscamp (Indianapolis: Hackett, 2001).

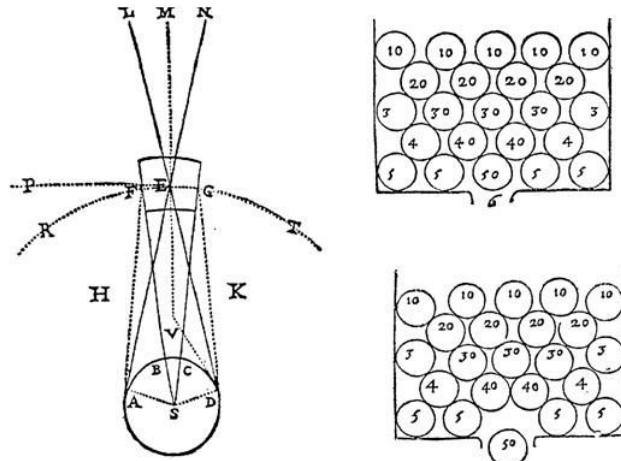


그림 6. 빛의 전파에 대한 테카르트의 설명. 왼쪽 그림은 태양 (ABCD에서 나온 빛이 인간의 눈동자(FEG)에 도달하는 경로에 대한 설명이고, 오른쪽 포도주통에 담긴 포도의 유비는 압력으로서의 빛이 눈에 작각이 아닌데도 어떻게 먼 거리를 순식간에 전파해서 눈에 도달하는가를 설명하기 위한 유비였다. Source: Descartes 1998 (주 24 참조), p. 56, 60.

데카르트는 빛의 전파를 포도주통과 포도의 유비를 들어 설명했다. 이 유비에서는 포도가 꽉 채워져 있는 통의 바닥 중앙에 포도가 하나 빠져나올 구멍을 뚫고, 위에서 압력을 가하는 가상적인 상황이 설정되었다. 이 경우에 위 표면의 가운데를 눌러도 아래 구멍에서는 50번의 포도가 빠져나오지만(그림 6 오른쪽 상단), 위 왼쪽 상단을 누를 때에도(그림 6 오른쪽 하단) 구석에 있던 5번의 포도가 아닌 50번의 포도가 빠져나오는 것이었다. 여기서 구멍은 우리 눈에 해당되는 것이고, 50번 포도는 우리가 인식하는 빛이었다. 왼쪽 그림에서 보면 우리는 눈은 FEG와 일직선상에 있는 BC의 압력만을 느끼는 것이 아니라는 것이었다. AB나 CD와 같은 주변의 압력도, 포도주통의 구석을 눌러도 중앙의 포도가 나오듯이, 우리의 눈에 전달이 될 수 있었던 것이다.

데카르트의 논의가 시작적 모델을 사용한 과학적 상상력의 사례를 잘 보여 준다면, 뉴턴의 빛의 입자론을 비판하면서 빛의 파동 이론을 제창한 토머스

영은 간섭현상에 대한 이미지를 매개로 소리와 빛이라는 본질적으로 다른 영역의 유비를 만들어낸 경우로 볼 수 있다. 영은 원래 귀를 치료하고 청력에 대해 연구하던 의사였고, 그가 소리에 관심을 가진 것은 자연스러운 일이었다. 당시에 소리는 파동이고 두 파동 사이에는 ‘간섭 현상’(interference)이 일어난다는 것이 발견되었다. 간섭은 두 곳에서 같은 소리를 낼 경우에 어떤 자리에선 그 소리가 더 크게 들리고 어떤 자리에선 아예 안 들리는 경우를 말하는데, 그 이유는 두 곳에서 만들어져서 진행되던 소리 파동들이 중첩되는 곳에서는 소리가 커지고 하나는 높고 하나는 낮은 것이 합쳐져서 상쇄되는 곳에서는 소리가 없어지기 때문이다.<sup>25)</sup>

Fig. 267.

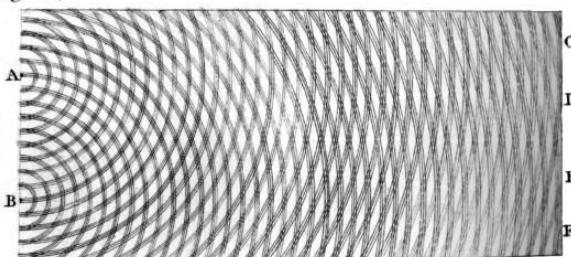


그림 7. 호수에 돌 두 개를 던져서 (A와 B) 나타나는 간섭현상을 그린 토머스 영의 그림 (1807). 그는 물결과 소리에서 나타나는 이러한 간섭현상이 빛에서도 나타난다는 것을 보였다. 이 실험은 빛이 파동임을 보여주는 결정적인 실험이 되었다. Source: Thomas Young, *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts* (1807).

25) 토머스 영의 생애와 업적에 대해서는 아직도 George Peacock, *Life of Thomas Young: M.D., F.R.S.* (London: J. Murray, 1855)가 가장 믿을만하다. 최근의 전기 Andrew Robinson, *The Last Man Who Knew Everything: Thomas Young, the Anonymous Genius who Proved Newton Wrong and Deciphered the Rosetta Stone, among Other Surprising Feats* (Penguin, 2007)는 일반 독자를 대상으로 쓰인 책이다.

영의 창의성은 이러한 소리의 간섭현상을 빛이라는 전혀 다른 영역으로 유비를 시킨 데 있었다. 빛의 경우에 얇은 금속판에 주기적인 무늬가 생기는 것은 오래 전부터 알려져 있었다. 영은 빛이 파동이기 때문에 이런 무늬가 만들 어질 가능성이 있다고 생각하고, ‘만약 빛이 파동이면 소리와 유사한 간섭 현상도 생기지 않을까?’라고 추정했다. 그런데 빛이 파동이라는 생각은 그 당시로 보면 얼토당토않은 생각이었는데, 빛의 입자설은 이미 오래전 뉴턴에 의해 서 확립되었고 여러 가지 실험을 통해서 잘 검증되었기 때문이다. 영은 빛을 가지고 간섭 현상을 실험해 보기로 결심하고, 유명한 ‘이중 구멍 실험’(two-slit experiment)을 고안했다. 하나의 빛을 거리가 떨어진 두 구멍을 통해 통과시킨 뒤에, 어느 정도 떨어진 지점에 스크린을 장착해서 결과를 보는 실험이었다. 스크린에는 밝은 부분과 어두운 부분의 간섭 패턴이 규칙적으로 만들어졌으며, 이는 빛이 입자가 아니라 파동이기 때문에만 가능한 현상이었다. 영의 논문은 1801년에 출판되었고, 이 논문은 100년 동안 정설로 받아들여지던 빛의 입자론을 파동론으로 바꾸는 데 방아쇠를 당긴 중요한 역할을 했다.<sup>26)</sup>

토머스 영은 자신의 논문이 실험적 사실에 근거한 것임을 강조했다. 앞에서 잠깐 언급했듯이, 그는 괴테의 색깔이론이 상상력의 산물이고 인간 정신의 도착을 잘 보여주는 사례라고 비판했던 사람이었다. 그렇지만 영의 논문을 심사했던 영국 케임브리지 대학교의 수리물리학자 조지 피콕은 논문의 마지막에 이례적으로 다음과 같은 코멘트를 남겼다. “이 [빛과 소리의] 유비는 상상의 산물이며 전혀 근거가 없다. 편집인(조지 피콕)의 주.” 상상력을 비판했던 영 자신의 연구 역시 다른 과학자들이 보기에는 상상의 산물이었던 것은 아니리니가 아닐 수 없다.<sup>27)</sup>

시각화와 심상은 관찰이나 사변적인 추론에만 사용되는 것은 아니다. 아주 엄격한 실험과학에서도 시각화와 심상이 중요한데, 우리는 이러한 사례를 19세기 영국의 실험 물리학자인 마이클 폐리테이에서 찾아볼 수 있다. 폐리테이

26) J. D. Mollon, “The Origins of the Concept of Interference,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A* 360 (2002), 807-819; Holton, “Imagination in Science.”

27) Holton, “Imagination in Science,” on p. 95.

는 전자기분야, 화학분야에 굉장히 많은 업적을 남긴, 19세기 전반에 영국을 대표한 과학자였다. 전기분해의 페러데이 법칙은 중고등학교 교과서에 등장할 정도로 유명한 법칙이다. 그는 정규 과학교육을 받지 않았음에도 불구하고 오랫동안 고등 교육을 받은 과학자들도 남기지 못했던 수많은 업적을 남겼는데, 그 대부분은 그가 오랜 기간 동안 실험실에서 꼼꼼하게 수행했던 실험에 근거한 것이었다. 그는 상세하고 방대한 실험 노트를 남겼고, 논문을 출판할 때에도 자신이 실험을 한 과정을 매우 상세하게, 번호를 매겨가면서 기술했다. 그의 논문은 ‘실험은 스스로 말한다’는 경구 그 자체였다.<sup>28)</sup>

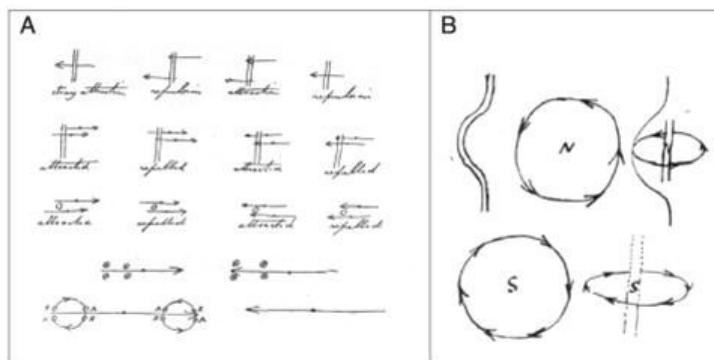


그림 8. 직선으로 전류가 흐르는 도선 주위에 원형 힘이 존재한다는 것을 보인 페러데이의 실험 기록들. Source: Gooding 1990 (주 29 참조), pp. 172-73.

그런데 과연 그러했을까? 전자기 현상에 대한 그의 연구는 역선(lines of force)이라는 개념을 사용한 것들이 많았다. 자석 주변에 철가루를 뿌렸을 때 특정한 형태의 자기력선을 볼 수 있다는 것은 잘 알려진 상식이었다. 페러데이는 이것으로부터 전기의 경우에도 이런 역선이 존재할 것이라는 사고를 했

28) L. Pearce Williams, *Michael Faraday: A Biography* (New York: Basic Books, 1965); Colin Russell, *Michael Faraday: Physics and Faith* (New York: Oxford University Press, 2000).

다. 전기력선은 실제로 눈으로 보이진 않지만, 자연의 통일성이 전기, 자기, 빛, 열, 화학현상 등을 연결해 주기 때문에, 전기력선도 자기력선 비슷한 방식으로 존재해야 한다고 주장했던 것이다. 그는 전류가 흐르는 도선 주변에 원형의 힘이 존재한다는 것을 처음 발견했고, 이를 사용해서 전류 주변에서 물체를 원형으로 움직일 수 있다는 것을 (즉, 지금 우리가 모터라고 부르는 것을) 알아냈다. 패러데이가 이를 발견한 과정을 상세히 분석했던 과학사학자 D. 구딩은 그가 이를 발견하는 데 이미지들이 적극적인 역할을 했음을 보였다. 즉, 그림 8에서처럼 패러데이의 노트에 기록된 이미지들은 눈에 보이는 것을 기록한 결과가 아니라, 일종의 ‘사고의 도구’(tools of reasoning)였다는 것이다. 이미지는 추론 과정에서 마치 실험실의 기구(instrument)와 하는 역할과 흡사한 역할을 했다.<sup>29)</sup>

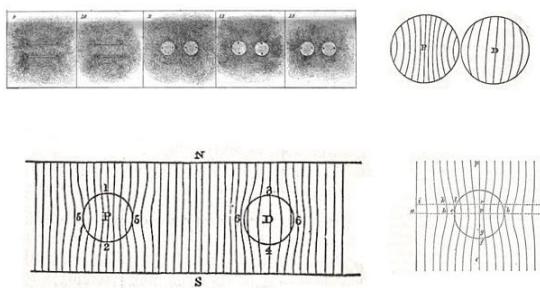


그림 9. 패러데이의 자기력선 (왼쪽 위), 상자성체와 반자성체 (왼쪽 아래 그림에서 각각 P와 D라고 표시한 물체). 상자성구와 반자성구 (오른쪽 위와 상자성체로 이루어진 지구를 시각화 한 것 (오른쪽 아래). Faraday 1855 (주 31 참조), p. 212, p. 231.

29) David Gooding, “Mapping Experiment as a Learning Process: How the First Electromagnetic Motor Was Invented,” *Science, Technology & Human Values* 15 (1990), 165-201; R. D. Tweney, “Fields of Enterprise: On Michael Faraday’s Thought,” in D. B. Wallace and H. E. Gruber eds., *Creative People at Work: Twelve Cognitive Case Studies* (New York: Oxford University Press, 1989). 패러데이의 visual reasoning에 대한 최근 논의로는 David C. Gooding, “From Phenomenology to Field Theory: Faraday’s Visual Reasoning,” *Perspectives on Science* 14 (2006), 40-65가 있다.

또 다른 실험을 예로 들어 보자. 자기력선은 철가루를 사용해서 눈으로 볼 수 있다. 자석의 경우 우리는 자기력선이 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어간다고 가정한다. 그런데 물체 중에 상자성(paramagnetic) 물체는 자성을 강하게 한다. 그런데 상자성 물질이 자성을 강하게 하는 기제(mechanism)를 자기력선을 사용해서 시각화할 수 있을까? 패러데이는 이 문제를 다음과 같이 생각했다. 상자성 물질이 자성을 강하게 한다는 것은, 이 물질이 균일한 자기장 안에 놓여있을 때 주변보다 물질 내부로 자기력선을 더 많이 잡아끄는 것 이었다(그림 9 왼쪽 하단 P). 이렇게 될 경우에 상자성 물질은 주변보다 그 내부에 더 많은 자기력선을 가지는 셈이었다. 그런데, 패러데이의 추론에 의하면, 자연에는 항상 통일성이 있기 때문에 만약 이런 식으로 작용하는 물질이 있다면 이와는 반대 물질도 존재해야 했다. 즉, 어떤 물질을 자기장 안에 놓았을 때 주변 자기장을 구성하는 자기력선을 더 벌려버리는 물질이 존재해야 한다는 생각이었다. 그는 이러한 물질을 찾아 나섰고, 결국에는 반자성(diamagnetic)이라고 이름붙인 새로운 종류의 물질을 찾아냈다(그림 9 왼쪽 하단 D). 시각적 상상력(visual imagination)과 통일성에 대한 믿음이 새로운 발견을 낳은 것으로, 이는 패러데이의 가장 중요한 업적 중 하나가 됐다.<sup>30)</sup>

패러데이의 과학적 상상력이 여기에서 그친 것이 아니었다. 자기장속의 상자성 구체와 반자성 구체를(그림 9 왼쪽 하단) 그대로 자기장 밖으로 가지고 온다고 생각해 보자. 물론 이는 가상적인 상황이지만, 이것이 가능하다면 이 경우에 상자성체는 자기력선이 바깥쪽으로 발산되는 모양을, 반자성체는 자기력선이 안쪽으로 벌어지는 모양을 가지게 될 것이다. 그런데 지구 자기의 경우에는 자기력선이 남극과 북극에서 나와서 바깥쪽으로 발산되는 모양을 가지는데, 패러데이는 상자성체의 가상적인 시각화의 결과가 지구 자기력선의 모양과 흡사하다는 데에 주목하였다. 그는 지구가 아마도 상자성체 물체가 작동하는 것과 흡사한 방향으로 작동할 것이라고 생각했으며, 이를 지구 자기에

30) 반자성체를 비롯한 패러데이의 자기력에 대한 연구는 홍성욱, “Michael Faraday에 있어 자기력선 개념의 형성과정에 대한 고찰,” 『한국과학사학회지』 8권 (1986), 48-70쪽 참조.

대한 연구와 접목시켰다. 이러한 식의 사고는 패러데이에게 새로운 발견을 가져왔고 그를 계속해서 새로운 연구로 나아가게 했던 요인이었다.<sup>31)</sup>

실험만이 아니라 수학적인 사고에서도 상상력은 중요하다. 19세기 중후반에 활동한 영국 물리학자 J. C. 맥스웰의 사례를 들어보자. 패러데이와 달리 맥스웰은 실험과 수학 모두에 능통했고, 수학을 사용해서 패러데이가 발견했던 전자기현상을 수식으로 정리했다. 맥스웰은 패러데이의 역선 개념을 물리적인 의미를 지니는 것으로 받아들였는데, 맥스웰에 의하면 역선이 의미하는 바는 전자기장이 존재하는 에테르 공간에 에너지가 꽉 차 있다는 것이었다. 그는 심지어 이러한 에너지를 교란시키거나 이동시킬 수도 있다고 보았다. 에너지가 꽉 차 있는 에테르 공간을 설명하기 위해서 그는 1861년에 출판된 “물리적 역선에 대해서”라는 논문에서 그림 10에서 보는 것과 같은 ‘벌집 모형’을 고안했다. 공간이 회전하는 벌집 모양의 격자들로 꽉 으로 채워져 있고, 이 공간이 서로 맞물려서 돌아가면서 에너지를 회전운동 에너지 형태로 보관 할 수 있었다.<sup>32)</sup>

---

31) Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* Vol. 3 (London, 1855), pp. 200-233.

32) James Clerk Maxwell, “On Physical Lines of Force,” (1861-2) in W. D. Niven ed., *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (Cambridge: Cambridge University Press, 1890) Vol. 1, pp. 451-513. 맥스웰의 모델을 포함한 모델 일반에 대한 철학적인 논의는 Margaret Morrison, “Modelling Nature: Between Physics and the Physical World,” *Philosophia Naturalis* 35 (1998), 65-85; Nancy Nersessian, “How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science,” in Ronald Giere ed., *Cognitive Models of Science* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1992), pp. 3-44, 특히 pp. 17-19를 참조.

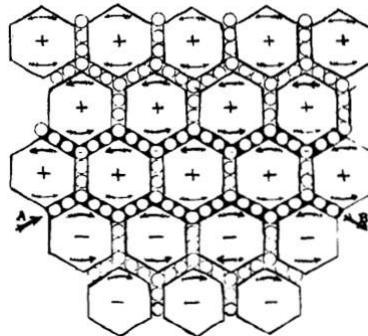


그림 10. 전자기 에테르에 대한 맥스웰의 벌집 모델 . Source: Maxwell 1861-2 (주 32 참조), on p. 488.

그런데 벌집의 작은 방이 서로 맞물려 돌아간다면 서로 도는 방향이 계속 엇갈리는 결과를 낳게 되고, 이는 각각의 에너지가 상쇄되어 결국에는 아무런 운동도 하지 못하는 결과를 낳는다. 맥스웰은 이러한 문제를 해결하기 위해서 벌집의 작은 방들 사이에 더 작은 공(idle wheel)들이 굴러다닌다고 가정했다. 이 공은 방과 방 사이에서 방의 회전을 같은 방향으로 할 수 있는 매개물 역할을 했다. 작은 공들을 포함해서 복잡한 벌집 모양의 에테르의 회전 운동에서 나오는 에너지를 방정식의 형태로 풀어내면, 소위 맥스웰의 4가지 방정식 중에 하나인

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_f + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

가 유도될 수 있었다.<sup>33)</sup>

33) 이에 대해서는 Daniel Siegel, *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory: Molecular Vortices, Displacement Current, and Light* (Cambridge: Cambridge University Press, 2003)을 참조. 맥스웰의 벌집 모델에는 비판이 존재했다. 에테르가 벌집모양과 비슷할 것이라는 증거는 어디에도 없었기 때문이다. 이러한 비판을 감안해서 맥스웰은 이후 “전자기 장의 동역학적 이론” 논문(1864)에서 모델을 전혀 쓰지 않고 수학적인 방정

물리학을 하는 사람에게 이 방정식은 자기장의 변화가 전류를 낳는다는 의미로 잘 알려져 있다. 그런데 여기서 주의를 기울여야 할 부분은 D로 표시된 ‘변위전류’(displacement current) 항목이다. 이는 아마도 맥스웰의 여러 업적 중에 가장 중요한 것으로 꼽힐만한 것인데, 맥스웰은 그 이전까지는 아무것도 없다고 간주된 공간에 변위전류가 존재함을 보였고, 이를 감안해서 몇 가지 방정식을 풀어서 소위 전자기파(electromagnetic wave)의 존재에 대한 수학적인 증명을 얻을 수 있었다. 맥스웰의 전자기파는 그의 전자기 이론과 다른 물리학자들의 전자기 이론을 구별하는 가장 핵심적인 특성이었다. 맥스웰이 이론적으로 예견한 전자기파는 1888년에 독일 물리학자 H. 헤르츠에 의해서 실험적으로 검출되었다. 에너지를 저장하고 이동시킬 수 있는 전자기 에테르에 대한 맥스웰의 과학적 상상은 결국 20세기 통신문명의 혁명을 낳은 전자기파를 ‘만들어 냈던’ 것이다.

#### V. 과학적 상상력의 복원과 ‘두 문화’

알버트 아인슈타인은 시각화를 사용한 과학적 상상력의 힘을 누구보다 잘 알고 있었던 과학자였다. 그는 특수 상대성이론을 만드는 과정에서 우주에 일정 간격으로 존재하는 시계들의 시간을 맞추는 과정에 대해서 상상했다. 그의 특수 상대성 이론은 정지한 시계와 움직이는 시계의 시간 맞추기를 하는 과정을 수학적으로 논의하면서 유도되었다고 보아도 과언이 아니다. 물론 여기에는 우주를 꽉 메우고 있다고 가정된 에테르(ether)라는 절대공간이나 물체의 운동과 무관하게 흐르는 절대시간과 같은 개념에 대해서 회의적이던 그의 과

---

식만을 사용해서 같은 결과를 유도했다. 그렇지만 그가 변위전류라는 개념을 처음으로 얻어낸 것은 모델에 기초한 사고로부터였다. 맥스웰 모델의 발견법적(heuristic) 속성을 과학 교육에 적용하려는 시도로는 C. C. Silva, “The Role of Models and Analogies in the Electromagnetic Theory: A Historical Case Study,” *Science & Education* 16 (2007), 835-848, 특히 pp. 842-844를 참조.

학철학이 한 뜻을 했지만, 실제로 우주의 시계를 맞추는 작업과 같은 시각화를 도입할 수 있었던 데에는 그가 당시에 스위스 베른의 특허국에서 특허를 다루는 일을 했기 때문이었다. 당시 도시가 발전하고 전신과 열차가 보편화되면서 근접 도시들에 있는 모든 시계들을 같은 시간으로 맞추는 일의 중요성이 증가했고, 이러한 기계를 만들어서 특허를 신청하는 것이 늘고 있었다. 우연찮게도 아인슈타인은 바로 이러한 특허를 심의하는 일을 담당하고 있었다.<sup>34)</sup>

그는 말년에 친구 M. 솔로빈에게 쓴 편지에서 관찰과 실험 데이터와 이론 사이의 관계에 대한 자신의 생각을 정리해서 제시했다. 그에 의하면 과학자는 경험 데이터 E를 놓고 여기에서 공리 A를 끌어내는데, 이 과정은 직관적인 과정이지 결코 논리적 과정이 아니라는 것이다. 대신 공리 A에서 이론, 법칙 같은 과학명제 S, S', S"...을 이끌어내는 과정은 논리적 과정이고, 보통 수학을 써서 이루어지는 과정이다. 그런데 아인슈타인에 의하면, 이러한 과학명제들과 우리의 경험 데이터 E와의 관계 역시 논리적인 관계가 아니었다. S, S', S"...과 E의 관계는 정형화되거나 일반화되기 어려운 모호한 관계로, A와 E 사이의 관계보다도 덜 명료하고 더 직관적이라는 것이 그의 생각이었다.<sup>35)</sup>

아인슈타인은 평생을 두고 ‘과학적으로 참’(scientifically true)인 것과 ‘논리적으로 바른’(logically correct) 것을 구별했다. 그에게 과학은 항상 논리 이상의 것이었다. 과학적 설명을 얻어내는 과정에는 논리적으로는 설명이 가능하지 않은 직관적인 ‘비약’ 같은 것이 있었기 때문이다. 그는 과학의 본질을 “개념을 가지고 자유롭게 노는 것”(free play with concepts)이라고 생각했다. 물론 그렇게 해서 얻어진 결과는 관찰이나 실험 데이터와 모순이 되지 않아야 했다. 그렇지만 이런 ‘비약’이 데이터에 이론을 맞추는 과정에서 생길 수 있는 것도 결코 아니었다. 결국은 어떤 종류의 정신적 힘, 우리가 과학적 상

34) Peter Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time* (New York: Norton, 2003).

35) Albert Einstein, *Albert Einstein Letters to Solovine, with an Introduction by Maurice Solovine* (New York: Philosophical Library, 1987). 이에 대한 논의로는 홍성욱, “과학과 철학의 경계를 넘어: 아인슈타인의 과학사상” (제 1회 인문과 자연의 만남 심포지움 발표, 2005. 12. 9. 서울대학교)을 참조.

상력이라고 부른 정신 작용이 과학에는 항상 개입해야 했던 것이다.<sup>36)</sup>

이성을 강조한 계몽사조와 반대로 상상력을 강조한 낭만주의 문예사조 이후에 상상력은 이성과 하나가 될 수 없는, 상반되는 지적 능력으로 간주되곤 했다. 이러한 경향은 과학과 문예의 간격을 더 넓게 벌리는 결과를 낳았다. 그렇지만 이성의 힘을 중요하게 생각했던 소수의 예술가와 문인들, 그리고 상상력의 역할을 긍정적으로 보았던 소수의 과학자들은 이성과 상상력의 상보적인 관계를 복원해야 한다고 강조했다. 18세기에서 19세기 초에 걸쳐 활동한 스페인의 화가 고야는 “이성으로부터 벼려진 상상력은 불가능한 괴물들만 만들어낸다. 이성과 결합했을 때, 상상력은 예술의 모태가 되고 그 예술의 경이로움의 근원이 된다.”고 하면서, 예술가들도 이성의 중요성을 인식해야 한다고 역설했다.<sup>37)</sup>

18-19세기에 간헐적으로 상상력을 강조한 과학자들이 있었다. 18세기 철학자 데이비드 흄은 상상력이 우리 감각에 직접 자극이 없을 때 우리의 사고를 가능케 하고, 세계에 대한 지각들의 간격을 메워주는 적극적인 역할을 하는 것으로 간주했다. 상상력의 적극적인 역할에 대한 흄의 강조는 아담 스미스에게 큰 영향을 주었다. 아담 스미스는 그의 과학 방법론을 가장 간결하고 명확하게 표현한 『천문학의 역사』에서 과학에서 상상력이 서로 분리된 개념들 사이에 연결고리를 만들어 줌으로써, 과학적인 설명을 제공하는 것이라고 강조했다. 그에 의하면 철학(과학)의 모든 활동이 상상력에 다름 아니었다.<sup>38)</sup>

19세기 후반기에 열정적으로 활동한 물리학자 존 틴달은 과학자 중에서 드물게 상상력의 중요성을 인식했던 사람이었다. 그는 “감각의 영역을 벗어난 효과를 우리가 시각적으로 제시할 수 있는 능력이 바로 철학자들이 상상력이라고 불렀던 것이다”고 상상력을 정의하고 나서, “우리에게 상상력이 없다면

36) Albert Einstein, *Autobiographical Notes* (LaSalle and Chicago, Illinois: Open Court Publishing Company, 1979).

37) 18세기 이후 이성과 상상력의 분리에 대해서는 Lorraine Daston, “Fear and Loathing of the Imagination in Science,” *Daedalus* 127 (1998), 73-96 참조. 고야의 인용은 78쪽.

38) 흄과 스미스에 대해서는 Robin Downie, “Science and the Imagination in the Age of Reason,” *Medical Humanities* 27 (2001), 58-63을 참조했다.

우리는 과학에서 비판적인 능력을 가질 수는 있겠지만 창의적인 능력을 가질 수 없다.”고 강조했다. 그는 자연이 우리의 눈으로 보는 영역을 벗어나서 작동하는 경우가 많기 때문에, 이럴 때에는 우리의 “마음의 눈”을 사용해야 함을 강조하면서, 실험을 할 수 없을 때 상상력을 사용할 수 있다고 주장했다. 그렇지만 틴달 역시 상상력과 이성의 결합을 강조했는데, 이는 상상력이 이성과 결합할 때 물리학자에게 가장 강력한 무기가 될 수 있다고 보았기 때문이다. 이것이 그가 “상상력의 과학적 이용”이라고 부른 것이었다. 미국의 의학자 J. H. 와이드는 틴달의 강연에 감명을 받아서 진단과 처방을 담당하는 의사에게도 상상력이 필요하다고 역설했는데, 그 역시 상상력이 잘 훈련된 과학적 방법과 진리에 의해서 통제가 되어야 함을 강조했다.<sup>39)</sup>

상상력과 이성의 결합을 강조하는 데에는 이 둘이 오랫동안 분리되어 독립적인 정신활동으로 간주되었다는 이유가 있다. 상상력은 감각으로 지각할 수 없는 것을 ‘마음의 눈’에 보이게 하는 힘을 지칭하며, 예술이나 문학 같은 분야에서 창의적인 업적을 낳는 인간 정신으로 간주된다. 반면에 과학에서는 아직도 이성, 합리적인 사고, 끈기 같은 것들이 중요하다고 간주된다. 그런데 지금까지 논의를 통해 보았듯이 창의적인 과학자들은 과학철학 교과서에 나온 것처럼 정형화되고 논리적인 공식을 따라서 연구를 하지 않고, 거의 동물적인 본능에 따라서 경험 데이터와 과학적 설명 사이의 간격을 시각적, 유비적, 모델을 통한 상상력을 동원해서 채우곤 한다.

그렇다면 앞으로도 계속해서 이성과 상상력을 구분하고 이 둘의 결합을 논하는 것이 바람직한 태도인 것인가? 이 구분이 고대부터 현대까지 모든 시기에 걸쳐서, 모든 문명에 공통적으로 존재했던 것이 아니라 서구 유럽에서 18세기 이후에 확연하게 굳어진 것이라면, 지금 우리는 이성과 상상력의 결합만

39) John Tyndall, J. Tyndall, *Essays on the Use and Limit of the Imagination in Science* (London: Longmans, Green, and Co, 1870); Raffaella Santi, “Beyond the Bounds of Experience? John Tyndall and Scientific Imagination,” *Cultura: International Journal of Philosophy of Culture and Axiology* 10 (2008), 106-114. 의학에서의 상상력에 대한 논의는 J. H. Wythe, *The Scientific Use of the Imagination: Valedictory Address* (Medical College of the Pacific, 1877)를 참조.

을 강조하는 것을 넘어서 상상력과 이성 개념 모두를 포괄하는 인간의 창의 적이고 강력한 지적 능력을 지칭하는 새로운 개념, 새로운 단어를 만들어야 하지 않는가? 이성과 상상력의 결합이라는 식의 분리된 개념들을 계속 사용하는 것이, 실제로는 분리되지 않은 인간의 정신 능력의 총체를 제대로 이해하거나 발휘하는 것을 막는 조건을 만드는 결과를 낳는 것은 아닐까? 20세기 후반에는 과학과 문예로 대별되는 ‘두 문화’의 간극을 극복하기 위해서, ‘이성인가 상상력인가’를 넘어서 ‘이성과 상상력의 결합’을 생각했다. 이제는 그 결합의 결과가 무엇인지, 하나의 새로운 이름을 갖는 통합된 지적 능력이 무엇인가를 고민할 때이다.<sup>40)</sup>

---

40) 1990년대 후반부터 art and science 대신 artscience 혹은 sciencart와 같은 개념을 사용하면서 art와 science의 차이를 없애려는 움직임은 이러한 ‘통섭’의 가능성을 제공한다. 이에 대해서는 David Edwards, *Artscience: Creativity in the Post-Google Generation* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2008) 참조.

## ■ 참고문헌

- 갈릴레오 갈릴레이. 2004. 『시데레우스 눈치우스』(1610) 장현영 역. 승산.
- 홍성욱. 1986. “Michael Faraday에 있어서 자기력선 개념의 형성과정에 대한 고찰,” 『한국과학사학회지』 8권, 48-70.
- 홍성욱. 2005. “과학과 철학의 경계를 넘어: 아인슈타인의 과학사상” (제 1회 인문과 자연의 만남 심포지움 발표. 12월 9일. 서울대학교).
- 홍성욱 편. 2006. 『과학고전선집』 서울대학교출판부.
- Biagioli, Mario. 2007. *Galileo's Instruments of Credit: Telescopes, Images, Secrecy*. Chicago. University of Chicago Press.
- d'Alembert, Jean Le Rond. 1995. *Preliminary Discourse to the Encyclopédie of Diderot*. Trans. Richard N. Schwab. Chicago. University of Chicago Press.
- Darnton, Robert. 1984. “Philosophers Trim the Tree of Knowledge: The Epistemological Strategy of the Encyclopédie,” in *The Great Cat Massacre and Other Episodes in French Cultural History*, pp. 191-213. New York. Basic Books.
- Daston, Lorraine. 1998. “Fear and Loathing of the Imagination in Science.” *Daedalus* 127: 73-96.
- Dear, Peter. 1985. “Toitus in Verba: Rhetoric and Authority in the Early Royal Society.” *Isis* 76: 145-161.
- Descartes, R. 1998. “The Treatise on Light” in *The World and Other Writings* tr. and ed. by S. Gaukroger. Cambridge. Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 1998. *The World and Other Writings* tr. and ed. by S. Gaukroger. Cambridge. Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteoreology*. Trans. Paul J. Olscamp. Indianapolis. Hackett.
- Downie, Robin. 2001. “Science and the Imagination in the Age of Reason.”

- Medical Humanities* 27: 58–63.
- Edgerton Jr., Samuel Y. 1984. "Galileo, Florentine "Disegno" and the "Strange Spottedness" of the Moon." *Art Journal* 44: 225–32.
- Edwards, David. 2008. *Artscience: Creativity in the Post-Google Generation*. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Einstein, Albert. 1979. *Autobiographical Notes*. LaSalle and Chicago, Illinois. Open Court Publishing Company.
- \_\_\_\_\_. 1987. *Albert Einstein Letters to Solovine, with an Introduction by Maurice Solovine*. New York. Philosophical Library.
- Faraday, Michael. 1855. *Experimental Researches in Electricity* Vol. 3. London.
- Fraser, Craig. 1983. "J. L. Lagrange's Early Contributions to the Principles and Methods of Mechanics." *Archive for History of Exact Sciences* 28: 197–241.
- Galison, Peter. 2003. *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*. New York. Norton.
- Goethe, Johann Wolfgang von. 1970. *The Theory of Colors*. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Gooding, David. 1990. "Mapping Experiment as a Learning Process: How the First Electromagnetic Motor Was Invented." *Science, Technology & Human Values* 15: 165–201.
- Gooding, David. 2006. "From Phenomenology to Field Theory: Faraday's Visual Reasoning." *Perspectives on Science* 14: 40–65.
- Guerlac, Henry. 1981. *Newton on the Continent*. Cornell. Cornell University Press.
- Hall, A. R. 1948. "Sir Isaac Newton's Notebook, 1661–1665." *Cambridge Historical Journal* 9: 239–50.
- \_\_\_\_\_. 1955. "Further Optical Experiments." *Annals of Science* 11: 27–43.
- \_\_\_\_\_. 1975. "Newton in France, a New View." *History of Science* 13: 233–250.
- Gouk, Penelope. 1999. *Music, Science and Natural Magic in Seventeenth-Century England*. Oxford. Clarendon Press.

- Century England*. New Haven and London. Yale University Press.
- Holton, Gerald. 1995. "Imagination in Science," in Gerald Holton, *Einstein, History and Other Passions*, pp. 78–102. New York. AIP Press.
- Jammer, Max. 1957. *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Judovitz, Dalia. 1990. "Vision, Representation, and Technology in Descartes," in David Michael Levin ed., *Modernity and the Hegemony of Vision*, pp. 63–86. Berkeley, Los Angeles, London. University of California Press.
- Koyré, Alexandre. 1965. "The Significance of the Newtonian Synthesis," in *Newtonian Studies*, pp. 3–24. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Krimayer, Laurence J. 2006. "Toward a Medicine of the Imagination," *Lew Literary History* 37: 583–605.
- Marshall, Donald G. 1982. "Ideas and History: The Case of 'Imagination,'" *Boundary 2* 10: 243–359.
- Maxwell, James Clerk. 1861–2. "On Physical Lines of Force," in W. D. Niven ed., *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* Vol. 1, pp. 451–513. Cambridge. Cambridge University Press.
- Mollon, J. D. 2002. "The Origins of the Concept of Interference," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 360: 807–819.
- Morrison, Margaret. 1998. "Modelling Nature: Between Physics and the Physical World," *Philosophia Naturalis* 35: 65–85.
- Nersessian, Nancy. 1992. "How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science," in Ronald Giere ed., *Cognitive Models of Science*, pp. 3–44. Minneapolis. University of Minnesota Press.
- Osler, Margaret J. 2008. "Descartes's Optics: Light, the Eye, and Visual Perception," in Janet Broughton and John Carriero eds., *A Companion to Descartes*, pp. 124–143. Oxford. Blackwell.

- Peacock, George. 1855. *Life of Thomas Young: M.D., F.R.S.* London. J. Murray.
- Pesic, Peter. 2006. "Isaac Newton and the Mystery of the Major Sixth: A Transcription of his Manuscript 'Of Musick' with Commentary." *Interdisciplinary Science Reviews* 31: 291–306.
- Reeves, Eileen. 1997. *Painting the Heavens: Art and Science in the Age of Galileo*. Princeton. Princeton University Press.
- Ribe, Neil and F. Steinle. 2002. "Exploratory Experimentation: Goethe, Land, and Color Theory." *Physics Today* (July). available at [http://scitation.aip.org/journals/doc/PIITOAD-ft/vol\\_55/iss\\_7/43\\_1.shtml](http://scitation.aip.org/journals/doc/PIITOAD-ft/vol_55/iss_7/43_1.shtml)
- Robinson, Andrew. 2007. *The Last Man Who Knew Everything: Thomas Young, the Anonymous Genius who Proved Newton Wrong and Deciphered the Rosetta Stone, among Other Surprising Feats*. Penguin.
- Russell, Colin. 2000. *Michael Faraday: Physics and Faith*. New York. Oxford University Press.
- Sant'Anna, A. S. and C. Garcia. 2003. "Gravitation in Hertz Mechanics." *Foundations of Physics Letters* 16: 565–578.
- Santi, Raffaella. 2008. "Beyond the Bounds of Experience? John Tyndall and Scientific Imagination." *Cultura: International Journal of Philosophy of Culture and Axiology* 10: 106–114.
- Schibinger, Linda. 1988. "Feminine Icons: The Face of Early Modern Science." *Critical inquiry* 14: 661–691.
- Sepper, Dennis L. 1988. *Goethe contra Newton: Polemics and the Project for a New Science of Color*. Cambridge. Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 1994. *Newton's Optical Writings: A Guided Study*. Rutgers University Press.
- Shank, J. B. 2008. *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*. Chicago. University of Chicago Press.
- Shapin, Steven and Simon Schaffer. 1986. *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*. Princeton. Princeton

- University Press.
- Shapiro, Alan E. 1984. "Experiment and Mathematics in Newton's Theory of Color." *Physics Today* 37: 34–42.
- \_\_\_\_\_. 2008. "Twenty-Nine Years in the Making: Newton's Opticks." *Perspectives on Science* 16: 417–438.
- Siegel, Daniel. 2003. *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory: Molecular Vortices, Displacement Current, and Light*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Silva, C. C. 2007. "The Role of Models and Analogies in the Electromagnetic Theory: A Historical Case Study." *Science & Education* 16: 835–848.
- Smith, Crosbie and M. Norton Wise. 1989. *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Southgate, Beverly C. 1992. "The Power of Imagination: Psychological Explanations in Mid-Seventeenth-Century England." *History of Science* 30: 281–294.
- Stewart, Larry. 1992. *Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660–1750*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Truesdell, Clifford. 1960. "A Program Toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason." *Archive for History of Exact Sciences* 1: 1–36.
- Tweney, R. D. 1989. "Fields of Enterprise: On Michael Faraday's Thought," in D. B. Wallace and H. E. Gruber eds., *Creative People at Work: Twelve Cognitive Case Studies*. New York. Oxford University Press.
- Tyndall, John. 1870. *Essays on the Use and Limit of the Imagination in Science*. London. Longmans, Green, and Co.
- Vickers, Brian. 1984. "Analogy versus Identity: The Rejection of Occult Symbolism, 1580–1680," in Brian Vickers ed., *Occult and Scientific Mentalities in the Renaissance*, pp. 95–163. Cambridge. Cambridge University Press.

- Westfall, Richard S. 1962. "The Development of Newton's Theory of Colour." *Isis* 53: 339-358.
- Williams, L. Pearce. 1965. *Michael Faraday: A Biography*. New York. Basic Books.
- Winkler, Mary G. and Albert Van Helden. 1992. "Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy." *Isis* 83: 195-217.
- Wythe, J. H. 1877. *The Scientific Use of the Imagination: Valedictory Address*. Medical College of the Pacific.
- Yeo, Richard. 2001. *Encyclopaedic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Zajonc, Arthur G. 1976. "Goethe's Theory of Color and Scientific Intuition." *American Journal of Physics* 44: 327-333.

<Zusammenfassung>

## Science of Imagination, Imagination in Science

Hong, Sungook (SNU)

This paper aims to reappraise the meaning and importance of imagination in science. For this, I first examine historically the Scientific Revolution of the seventeenth century as a period during which imagination in science began to be underestimated. The underestimation emerged along with the rise of experimental science, and culminated with Newton's triumph. This had an enormous impact upon the Enlightenment philosophers, who separated reason from imagination, as well as science from art and the humanities. I then take an example of Newtonian science to highlight the important role of scientific imagination in Newton's scientific achievements. After this, I explore various important discoveries in the history of science which clearly show the positive role of scientific imagination. Rehabilitating scientific imagination not only illuminates the true nature of scientific creativity, but helps bridge the gap between the 'two cultures', that is, between the sciences and humanities.

주제어: 상상력, 과학적 상상력, 시각화, 유비, 창의성, 과학적 방법론,  
과학과 인문학

Schlüsselbegriffe: imagination, scientific imagination, visualization,  
analogy, creativity, scientific methodology, science  
and the humanities

필자 E-Mail: comenius@snu.ac.kr

논문등고일: 2009. 9. 25, 논문심사일: 2009. 10. 15, 제출정밀: 2009. 10. 30.