

“동체(動體)에 관한 전 학설을 반석 위에 올리다” *:

존 스미턴의 수차연구와 18세기 영국의 자연철학과
엔지니어링의 만남과 갈등, 그리고 다시 그어진 경계**

1

서민우
서울대학교, 과학사 및 과학철학 협동과정

I. 들어가며
II. 존 스미턴의 수차연구의 역사적 배경
III. 존 스미턴의 수차모형 실험과 그 함의

IV. 실용역학적 동력에서 역학적 동력으로
V. 이론과 실제
VI. 다시 그어진 경계

I. 들어가며

존 스미턴(John Smeaton, 1724-1792)은 리즈 근방의 오스소프(Austhorpe)에서 태어나 같은 곳에서 사망하기까지 산업혁명의 전반기를 온전히 살았던 인물로서, 18세기 영국 최초의 ‘민간 엔지니어(civil engineer)’²⁾ 중 한 사람으로

1 ** 이 논문의 일부는 2007년 10월 27일 한국과학사학회 가을학술대회와, 2008년 11월 8일 History of Science Society 연례모임에서 발표한 바 있다. 연구 및 발표준비 과정에서 날카로운 지적과 허심탄회한 비판을 아끼지 않으신 홍성욱 교수님과, 김봉국, 김성준, 김태호, 박민아, 정동욱, 정세권, 정원, 조수남 선배에게 감사드린다. 유익한 논평으로 논문을 마무리하는 데 도움을 주신 심사위원들께도 고마움의 말씀을 전한다.

* John Smeaton, “New Fundamental Experiments upon the Collision of Bodies(이하 Collision of Bodies),” *Philosophical Transactions of the Royal Society*(이하 *PTS*) 72 (1782), pp. 337-354, esp. p. 337.

2) 오늘날 ‘civil engineer’는 보통 토목공학 엔지니어로 번역한다. 그러나 18세기에는 전기공학 엔지니어는 물론이고 토목공학 엔지니어와 기계공학 엔지니어의 구별도 뚜렷하지 않았으며 일반적으로 ‘engineer’는 공병을 의미했다. 이러한 상황에서 몇몇 엔지니어들이 군사적 목적에 복무하는 공병들과 자신들을 구별하며 일반 공중을 위한 공학업무를 담당하는 엔지니어라는 뜻으로 스스로를 ‘civil engineer’라고 칭하기

일컬어진다. 그의 아버지는 중간계급인 사무 변호사(attorney)였으며, 그 역시 리즈의 그램머스쿨을 졸업한 뒤 아버지의 일을 이어받기 위해 1742년경 런던으로 법률 공부를 하러 갔다. 그러나 그는 어려서부터 관심을 가지고 있던 기계와 역학에 대한 미련을 버리지 못했고, 런던에서 벤저민 윌슨(Benjamin Wilson, 1721-1788), 윌리엄 왓슨(William Watson, 1715-1787), 고윈 나이트(Gowin Knight, 1713-1772) 등의 왕립학회 회원들과 교류하면서 결국 1748년경 기구 제작자의 삶을 선택하게 됐다. 1753년, 왕립학회의 정식회원으로 선출된 스미턴은 1759년, 수차의 능력을 측정하는 “원운동을 통해 제분기와 여타의 기계를 움직이는 수력과 풍력에 관한 실험적 연구”라는 논문을 《철학회보(*Philosophical Transactions of the Royal Society*)》에 발표하고, 이 연구로 그 해 11월 22일 코플리 메달(Copley Medal)을 수상하면서 단순한 기구 제작자가 아님을 사람들에게 각인시켰다. 그러나 1750년대를 거치며 점차 수요가 증가하고 있던 각종 엔지니어링 업무에 관여하기 시작한 스미턴은 1759년 에디스톤 등대(Eddystone Lighthouse)의 완공을 계기로 본격적인 민간 엔지니어의 삶을 살게 되었다. 그는 이후 30여년에 이르는 세월 동안 수많은 운하와 항구, 다리 등을 설계하고 감독했으며, 자신의 1759년 수차연구를 바탕으로 60여대에 이르는 수차를 제작하기도 했다. 1771년에는 민간 엔지니어 협회(Society of Civil Engineers)의 창립에 중심 인사로 참여하여 그 기틀을 놓았다.³⁾

역사학자들이 존 스미턴에게 관심을 가진 근저에는 무엇보다 과학혁명과 산업혁명, 더 넓게는 과학과 기술의 관계에 관한 물음이 깔려 있었다. 과학과 기술이 각기 고유의 전통을 갖고 있을 뿐 아니라 그 관계가 결코 단선적이지 않다고 생각한 역사학자들은 스미턴이나 제임스 와트(James Watt, 1736-1819)와 같은 인물들이 담보상태를 벗어나지 못하던 18세기 영국의 과학과는 대조적으로 산업혁명의 초석을 놓은 독립적인 영국 기술 전통의 탁월함을 보여주는 인물들이라고 평가했다.⁴⁾ 이런 경향의

시작한 것이다. 이러한 사정을 고려하여 여기서는 ‘civil engineer’를 ‘민간 엔지니어’라고 옮긴다. 이에 관해서는 각주 7을 보라.

3) 스미턴의 삶을 충실히 다룬 학술적 전기는 아직 존재하지 않는다. 기존의 저술로는, John Homes, *A Short Narrative of the Genius, Life, and Works, of the Late Mr. John Smeaton, Civil Engineer, FRS* (London, 1793); Samuel Smiles, “Life of John Smeaton,” idem, *Lives of the Engineers with an Account of Their Principle Works: Comprising also a History of Inland Communication in Britain*, Vol. 2 (New York: Augustus M. Kelley, Publishers, 1968. 초판은, London, 1862), pp. 1-90; Trevor Turner and A. W. Skempton, “John Smeaton,” A. W. Skempton, ed., *John Smeaton, FRS* (Thomas Telford Limited, 1981), pp. 7-34가 있다.

4) A. Rupert Hall, “What Did the Industrial Revolution Owe to Science,” Neil McKendrick, ed., *Historical Perspectives: Studies in English Thought and Society in Honour of J. H. Plumb* (London: Europa Publications, 1974), pp.

역사학자들이 스미턴의 수차연구를 상세히 분석함으로써 밝히려 한 것은 당대의 과학 혹은 자연철학 전통과 다른 기술 혹은 엔지니어링 전통의 독자성이었다. 예컨대 기술사학자 테리 레이놀즈에 따르면, 스미턴은 실용적인 정신을 가진 엔지니어로서 “기계에 대한 직관력, 물리적인 유비, 모형(model) 실험” 처럼 기술자들이 오랫동안 사용해 오던 연구방법을 통해 당대의 지배적인 이론적 결과들을 반박했다. 레이놀즈는 ‘체계적인 실험방법’ 을 강조하면서 이 시기에 이르러 기술자들 역시 실험과학의 영향을 받아 체계적인 실험과 정밀한 측정을 수행하게 되었고 그런 점에서 18세기의 과학은 방법론적인 차원에서 기술에 간접적인 영향을 미쳤을 뿐이라고 주장했다. 기술사학자 월터 빈센티 역시 스미턴이 과학에서 주로 사용하는 ‘기하학적’ 축척모형(scale model)이 아닌 ‘실제 작동하는’ 축척모형을 사용했고, 모형의 작동에 영향을 미치는 여러 변수들을 체계적으로 변화시킴으로써 그 성능을 시험해 보는 ‘매개변수 변화(parameter variation)’ 의 방법론을 적용했다는 점에 주목하며 과학과 다른 엔지니어링 전통의 독특함을 강조했다. 빈센티는 스미턴이 오늘날 엔지니어들이 흔히 사용하는 작동 모형과 매개변수 변화 방법론을 체계화했고 그것이 이후의 귀감이 되어 현대적인 공학 방법론으로 널리 자리 잡게 되었다고 평가했다.⁵⁾

반면, 과학혁명과 산업혁명 사이에 어떤 관련이 있다고 생각한 일군의 역사학자들은 스미턴과 와트와 같은 인물들이야말로 과학과 기술이 밀접하게 상호 작용하던 18세기 영국 과학기술 문화의 표상이라고 주장했다.⁶⁾ 머슨과 로빈슨의 선구적 연구에서 영감을 받아 17, 18세기 영국 과학기술의 실상에 천착한 역사학자들에 따르면 영국 사회는 적어도 18세기 중엽을 지날 즈음이면 이론과 응용이 사실상 구별되지 않고, 자연철학자들과 엔지니어, 기업가들이 자연철학적 문제와 그것의 산업적 응용 가능성을 격의 없이 논의하는 장이 되어 있었다. 이러한 현상에 주목한 역사학자들에게 와트의 증기기관, 아크라이트의 방적기와 같은 기술적 산물 하나하나가 18세기 영국 과학의 직접적인 응용의 결과였는지를 따지는 것은 과학혁명과 산업혁명의 관계를 바라보는

129-151; David S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present* (Cambridge: Cambridge University Press, 1969), p. 104, pp. 113-114.

5) Terry S. Reynolds, “Scientific Influences on Technology: the Case of the Overshot Waterwheel, 1752-1754,” *Technology and Culture* 20 (1979), pp. 270-295, esp. p. 284; Walter G. Vincenti, “The Air-Propeller Tests of W. F. Durand and E. P. Lesley: a Case Study in Technological Methodology,” *Technology and Culture* 20 (1979), pp. 712-751.

6) Stephen E. Mason, *A History of the Sciences* (New York: Collier Books, 1962), pp. 276-277; A. E. Musson and E. Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution* (Toronto: University of Toronto Press, 1969), pp. 49-50, pp. 73-74.

비생산적인 고찰 방식일 뿐이었다. 이러한 입장에 따르면, 산업혁명이 본격적으로 전개되기 전부터 “엔지니어들과 기업가들은 동일한 역학의 언어로 대화” 할 수 있었고, “물리적 세계를 객관화하고 그 작용을 역학적으로 이해할 수 있었으며 공통의 이해와 가치를 직조함으로써 서로 제휴할 수 있었[거니와]” 이것이야말로 진정한 ‘뉴턴의 유산’ 이요 당대인들이 실천한 뉴턴주의였다.⁷⁾

이런 경향의 연구들은 스미턴의 활동 역시 새로운 각도에서 바라볼 수 있게 해 주었다. 18세기 최고의 민간 엔지니어라고만 평가되던 스미턴이 당대 자연철학과의 관계에서 새롭게 주목받기 시작한 것이다. 이런 관점에서 재해석된 그의 모습은 당대의 자연철학에 관심을 기울이지 않은 채 작업현장에서 경험적 지식만을 축적한 엔지니어가 아니었다. 자연철학자가 되는 것이 꿈이었던 스미턴은 18세기 영국 과학기술 문화의 고유한 자장 속에서 당대의 뉴턴주의 자연철학에 큰 관심을 갖고 있었고, 그러한 관심은 그가 엔지니어의 길을 걷는 동안에도 결코 잦아들지 않았다. 스미턴이 왕립학회의 회원으로 선출될 때 그 추천 사유 역시 그가 “왕립학회의 회원들에게 역학의 이론과 실제에 대한한 역량을 가진 것으로 잘 알려진 신사” 이자 “철학적 기구 제작자” 라는 것이었으며, 그가 직업적 민간 엔지니어가 된 이후 《철학회보》에 게재한 논문만 해도 십여 편에 이를 정도였다.⁸⁾

요컨대 과학혁명과 산업혁명, 혹은 18세기 영국의 과학과 기술 사이에 직접적인 관계가 없다고 생각한 역사학자들이 스미턴의 수차연구라는 미시적 사례에 집중함으로써 자신들의 주장을 입증하려 했다면, 이에 반대한 역사학자들은 당대의 거시적인 문화적 에토스를 강조함으로써 스미턴의 희망과 의도를 부각하려 했다. 이처럼

7) Margaret C. Jacob, *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution* (New York: McGraw-Hill, 1988); idem, *Scientific Culture and the Making of the Industrial West* (New York: Oxford University Press, 1997); Betty Jo Teeter Dobbs and Margaret C. Jacob, *Newton and the Culture of Newtonianism* (Atlantic Highlands: Humanities Press, 1995); Larry Stewart, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992). 인용은, Margaret C. Jacob, *Scientific Culture*, p. 115. 이러한 입장을 경제사에 결합한 최근의 시도로는 Joel Mokyr, *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy* (Princeton: Princeton University Press, 2002)가 있다. 한편, “뉴턴의 유산” 이란 용어는 17세기 과학혁명이 18세기 계몽주의에 남긴 성과를 평가하며 루퍼트 홀이 사용한 것이다. A. Rupert Hall, *The Revolution in Science, 1500-1750* (London: Longman, 1983, 2nd ed.).

8) Margaret C. Jacob, *Cultural Meaning of the Scientific Revolution*, pp. 160-163; idem, “Commerce, Industry, and the Laws of Newtonian Science: Weber Revisited and Revised,” *Canadian Journal of History* 35 (2000), pp. 275-293. 스미턴의 왕립학회 추천 사유는, EC/1752/34, GB 117 The Royal Society Archive를 보라.

상반된 관점은 그에 상응하는 문제점을 야기했다. 전자의 연구들이 스미턴의 수차연구에 대한 상세한 이해를 제공해 준 반면 스미턴 당대의 실천적 맥락을 간과했다면, 후자의 연구들은 스미턴의 목소리를 복원함으로써 풍부한 역사서술을 직조해 냈음에도 그러한 목소리가 스미턴의 실천 속에서 구현된 모습을 구체적으로 보여주지는 못했던 것이다. 그런 점에서 스미턴의 활동을 당대의 자연철학자들과 엔지니어들의 갈등 구도 속에서 읽어 낸 과학사학자 사이먼 셰퍼의 연구는 새로운 사회사적 과학사의 성과를 반영한 가운데 당대 행위자들의 맥락과 의제를 더 세심하게 부각함으로써 앞선 역사학자들의 한계를 어느 정도 넘어섰다. 셰퍼는 스미턴의 수차 모형실험으로 촉발된 그와 자연철학자들의 논쟁을 분석하면서 이 사건을 케임브리지 뉴턴주의 자연철학자들이 실제 현업에 종사하는 현장 엔지니어의 도전에 맞대응한 것이자 성공적으로 자신들의 권위를 지켜낸 일화로 해석했다.⁹⁾

그러나 셰퍼는 이 논쟁을 주로 자연철학자들의 시각에서 다루었고, 그 때문에 자연철학자들의 입장은 분명히 드러난 반면 스미턴의 의제와, 스미턴이 그것을 자신이 제작한 수차모형과 실험장치에 구현한 방식과 같은 문제는 부각되지 못하고 말았다. 더욱이 셰퍼가 자연철학자와 엔지니어의 갈등이라는 공시적 분석에 집중한 까닭에 놓치고만 더욱 주목할 만한 대목은, 스미턴이 제작한 일련의 모형과 기계장치, 그리고 그에 대한 상이한 해석들을 18세기 영국의 자연철학 전통과 엔지니어링 전통의 관계라는 통시적 흐름 속에 놓고 검토할 경우 두 전통의 흥미로운 관계 변화를 읽어 낼 수 있다는 점이다. 스미턴은 일련의 모형 및 기계장치를 통해 한 사람의 현장 엔지니어로서 자연철학자들을 그저 비판하거나 실험을 통해 이론을 부정하는 것을 목표로 삼지 않았다. 그는 이론이 실제에 도움을 줄 수 있고 또 주어야 한다는 18세기 전반 뉴턴주의자들의 주장을 이어 받아 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링의 관계를 올바르게 정립하고자 하였으며, 그런 점에서 18세기 후반 스미턴과 자연철학자들의 논쟁은 단순히 자연철학과 엔지니어링이 본질적으로 다른 활동이라거나 두 전통의 갈등 관계만을 보여주는 사건이 아니었다. 스미턴의 활동에는 이전 세대의 자연철학자들이 주창한 실용적 자연철학의 이념이 구현된 측면이 있었고, 이로 인해 새로운 세대의 케임브리지 자연철학자들은 이전과는 다른 전략을 구사할 수밖에 없었던 것이다. 결국 그들은 수세적 입장으로 돌아서 자연철학과 엔지니어링, 이론과 실제의 경계선을 조심스럽게 다시 긋고 자신들의 입지를 지켜야 했다. 이런 의미에서 스미턴과 자연철학자들의 논쟁은 18세기를 거치며 점차 거리를 좁히고 있던 자연철학과 엔지니어링의 관계가 심화된 결과 양 전통 모두가 새로운 국면으로 전환되고 있음을 상징적으로 보여준 사건이었다.

9) Simon Schaffer, "Machine Philosophy: Demonstration Devices in Georgian Mechanics," *Osiris* 9 (1994), pp. 157-182.

II. 존 스미턴의 수차연구의 역사적 배경

1759년 스미턴은 ‘수차와 풍차의 날개에 관한 흥미로운 실험’과 ‘수력과 풍력에 관한 연구’를 수행한 공을 인정받아 왕립학회로부터 코플리 메달을 수상했다. 스미턴이 코플리 메달로 그 공을 인정받은 논문을 발표한 해는 1759년이었으나, 그는 이미 1752년과 1753년 사이에 기본적인 결론을 얻어놓은 상태였다. 그가 발표를 수년씩이나 미룬 것은 연구를 위한 모형과 실제 현장에서 작동하는 커다란 기계 사이에는 엄연한 차이가 있기 때문이었다. 스미턴은 “그러한 차이를 인식하지 못한다면 모형은 우리로 하여금 진리를 향해 나아가도록 하기보다는 진리로부터 멀어지게 만들 것” 이므로 현장의 실제 기계와 비교함으로써 더욱 확실한 결과를 얻기 전까지 발표를 미뤄 왔다고 언급했다.¹⁰⁾

스미턴이 ‘수력과 풍력에 관한 연구’를 시작한 이유를 분명히 알 수는 없으나, 그가 처음으로 수차를 건설한 것이 1753년이었던 것을 보면 실제 건설 작업보다 실험적 연구가 다소 앞섰음을 짐작할 수 있다.¹¹⁾ 물론 이전부터 상사식 수차와 하사식 수차를 비롯한 다양한 종류의 수차가 실제로 사용되고 있었고 수차의 효율성에 관한 논의들도 간헐적으로나마 존재했다. 그러나 현장 기술자들은 개인적 경험을 바탕으로 수차가 건설될 지역의 고유한 지형에 맞추어 조금씩 건설방식을 개량하는 것에 머물렀을 뿐 그에 관한 실험적 연구를 시도하지는 않았다. 수학자들과 자연철학자들 역시 수차처럼 현장에서 사용되는 기계에 관심을 보이기는 했으나 이를 이론적으로 분석하여 실제 실험결과와 대조하는 선까지 나아가지는 않았다. 예컨대 1704년에 발표되어 정설로 받아들여진 프랑스의 실용수학자 파랑(Antoine Parent, 1666-1716)의 이론은 상사식과 하사식 수차를 구분하지 않았고 그런 까닭에 기술자들이 그 결과를 참고했다 하더라도 실질적인 도움이 되지는 못할 실정이었다.¹²⁾

10) John Smeaton, “An Experimental Enquiry Concerning the Natural Powers of Water and Wind to Turn Mills, and Other Machines, Depending on a Circular Motion(이하 Natural Powers of Water and Wind),” *PTRS* 51 (1759-1760), pp. 100-174, esp. pp. 100-101.

11) Norman Smith, “Scientific Work,” A. W. Skempton, ed., *John Smeaton*, pp. 35-58, p. 37.

12) 당시 널리 사용되던 수차는 크게 두 종류로 분류할 수 있다. 우선 위에서 아래로 낙하하는 물의 무게를 이용하여 수차를 회전시키는 방식이 있는데 이를 통상 “상사식(overshot)” 수차라고 부른다. 이에 대비되는 “하사식(undershot)” 수차는 수차 아래로 흘러가는 물이 수차 날개에 부딪힐 때 작용하는 충격력을 이용하여 수차를 돌린다. 레이놀즈에 따르면 파랑을 비롯한 여러 논자들이 상사식과 하사식을 구분하지 않은 것에는 두 가지 정도의 이유가 있었다. 우선 당시 널리 퍼져 있던 입자철학의 영향을 들 수 있다. 17세기 이래 널리

그러나 18세기 중엽으로 접어들 즈음 상황은 변하고 있었다. 각종 산업이 성장함에 따라 영국인들은 이미 동력원에 많은 관심을 보이고 있었고, 상사식과 하사식 구분하여 그 능률을 계산하는 등 수력을 좀 더 효과적으로 이용해야 한다는 생각도 유럽 곳곳에서 더욱 분명한 형태로 제기되고 있었다. 스미턴 외에도 드 파르시유(Antoine de Parcieux, 1703-1768) 등이 실험적으로 수차연구를 수행했고, 오일러(Johann Albrecht Euler, 1734-1800), 보르다(Jean Charles Borda, 1733-1799) 등은 이론적으로 상사식과 하사식 수차의 능률을 계산했다.¹³⁾

영국에서는 수차에 관한 이론과 실험을 결합하려는 더욱 구체적인 시도들이 등장했다.¹⁴⁾ 이는 18세기 영국 뉴턴주의자들의 활동과 깊은 관련이 있었다. 18세기 영국의 자연철학에서는 연구와 교육, 그리고 대중화라는 여러 측면에서 실험과 실연이 중추적 역할을 담당하고 있었고, 그 맥락은 조금씩 달랐으나 각종 기구와 실연 장치, 그리고 모형 등의 물질적 기반이 그러한 활동을 실질적으로 유지하고 뒷받침했다. 자연철학 연구자들은 기구와 모형을 이용하여 자연을 더욱 정밀하게 탐구할 수 있었고, 교육가들은 장치와 모형으로 더 많은 학생들의 관심을 끌었으며, 실용성을 중시하는 이들 역시 자연을 조작할 수 있다는 전언을 각종 장치와 모형에 담았다. 이로써 기구, 장치, 모형은 자연철학자, 기술자, 기업가들이 “이론과 실재를 연결할 수 있게 해주었을 뿐 아니라 [그들에게] 사변적이기만 한 것들을 정말로 쓸모 있는 것들로 바꾸는 방법을 가르쳐 주기도 했다.” 특히 뉴턴주의 대중 강연가들은 크레인, 펌프, 제분기, 증기기관 등 현장에서 사용되는 기계의 모형을 통해 실제 기계의 작동방식을 설명하고, 그 작동방식이 뉴턴 역학의 원리를 따르고 있음을 보이려 했으며, 그럼으로써 자연철학의 산업적 유용성을 눈앞에 드러내려 하였다.¹⁵⁾

수용된 입자철학은 “자연의 모든 현상은 운동 중인 물질 입자가 오직 접촉에 의해 상호 작용함으로써 발생” 한다는 명제를 골자로 삼고 있었다. 이 때문에 자연철학자들의 관심은 충돌 현상에 집중돼 있었고 그 결과 자연철학자들이 상사식과 하사식 수차의 구별에 주의를 기울이지 않은 것은 물론, 모든 관심을 하사식 수차에 쏟고 있었다는 것이 레이놀즈의 주장이다. 한편, “충격과 중력이 동력으로서 동등한 효과를 발휘 한다” 는 관념이 당시 학계에 널리 퍼져 있던 것도 둘을 구분하지 않은 한 가지 이유였다. 그러나 이러한 가정들은 수력에 관한 관심이 고조되던 18세기 중엽경이면 점차 시험의 대상이 되었다. Terry S. Reynolds, *Stronger Than a Hundred Men: A History of the Vertical Water Wheel* (Baltimore: The Johns Hopkins University, 1983), pp. 211-212.

13) Ibid., pp. 218-246.

14) 18세기 역학의 역사를 서술한 트루스델에 따르면 수리역학은 실험역학과 사실상 무관하게 독립적으로 발전했는데, 18세기 수리역학의 본고장이 프랑스였다는 점을 생각해 보면 프랑스에서 수차와 관련한 이론과 실험을 접목하려는 시도가 적었던 이유를 짐작할 수 있다. C. Truesdell, “A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason,” *Archives for the History of Exact Sciences* 1 (1960), pp. 3-36. 수리역학에 관해서는 각주 43을 보라.

15) George Adams, “A Catalogue of Mathematical, Philosophical, and

모형들이 실제 기계의 토대가 되는 자연철학적 원리를 보여준다면, 이러한 모형을 이용하여 실제 기계를 개선할 수도 있었을 것이다. 실제로 기계 모형이 자연철학 공개강연과 여러 대중 서적들에서 한창 논의되던 때 일군의 사람들이 모형을 이용해 실제 기계의 능률을 비교하고 개선하려 했다. 1741년 벤저민 로빈스(Benjamin Robins, 1707-1751)는 올위치의 왕립 군사 아카데미(Royal Military Academy)의 자연철학 교수에 임용되기 위한 전략의 일환으로 공개강연을 준비하고 있었다. 그러던 중 그는 기존의 포술 이론에 불만을 품게 되었고, 이를 해결하기 위해 포탄의 모형이라 할 수 있는 탄도 진자를 고안하여 포탄에 작용하는 공기의 저항을 실험적으로 분석하였다. 와트 역시 모형을 사용하여 여러 증기기관의 능률을 비교하고 그 개선 방안을 찾으려 했다. 국지적인 지형과 여건에 맞추어 제작된 까닭에 일반적인 수준에서 비교되지 않던 기계들이 모형을 통해 비교되기 시작했던 것이다.¹⁶⁾

19세기 초엽까지도 영국 사회의 가장 중요한 동력이었던 수차에 관한 자연철학자들의 태도도 마찬가지였다. 예컨대 자연철학자이자 수학자로서 18세기 전반 가장 영향력 있는 뉴턴의 사도 중 한 명이었던 맥클로린(Colin MacLaurin, 1698-1746)은 각종 기계엔진에 관한 이론적 논의에서 매우 중요하나 대부분의 사람들이 간과한 질문이 있다며 다음과 같은 문제를 제기했다. “어떤 엔진이 주어진 시간동안 가능한 한 가장 큰 효과를 발휘하기 위해서는 엔진에 제공한 힘과 그 엔진이 일을 가하게 되는 물체의 무게 사이의 비율이 어떤 값이어야 하는가?” 요컨대 기계엔진의 효율성 문제가 시급히 다뤄야 할 문제라는 지적이었다. 맥클로린에 따르면 물체의 무게에 비해 엔진에 가한 힘이 너무 큰 경우라면 일의 속도는 빠르겠으나 더 무거운 물체를 들 수 있는 여분의 힘이 낭비될 것인 반면 두 힘의 크기가 비슷해질수록 더 무거운 물체를 들 수는 있으나 일의 진척이 더딜 것이었다. 그러므로 이론가들은 결과적인 효과(effect), 즉 물체의 무게와 물체의 속도를 곱한 값을 가장 크게 하는 조건을 찾아야 한다는 것이 맥클로린의 주장이었다.¹⁷⁾ 그는 실제로 1742년에 출판된 *유율법 논고*(*Treatise of Fluxions*)과

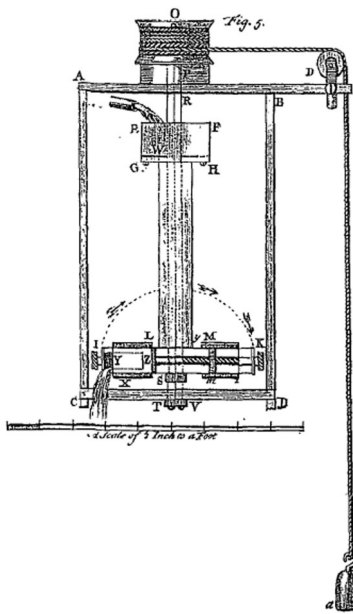
Optical Instruments,” idem, *Treatise Describing and Explaining the Construction and Use of New Celestial and Terrestrial Globes* (London, 1776), p. 2. 이 시기 대중강연의 여러 측면에 관해서는, 각주 6의 연구들과 함께 다음을 보라. Simon Schaffer, “Natural Philosophy and Public Spectacle in the Eighteenth Century,” *History of Science* 21 (1983), pp. 1-43; Alan Q. Morton and Jane A. Wess, eds., *Public and Private Science: The King George III Collection* (New York: Oxford University Press, 1993), pp. 39-119. 한편, 모턴과 웨스가 편집한 책에는 조지 3세의 컬렉션이 담겨 있는데, 이 자료들은 18세기 영국에서 각종 기구나 장치, 모형이 얼마나 크게 유행했는지를 생생하게 보여 준다.

16) Alan Q. Morton, “Men and Machines in Mid-18th Century London,” *Transactions of the Newcomen Society* 65 (1993), pp. 47-56.

17) Colin MacLaurin, *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries* (London, 1748), p. 149, 171. 여기서 맥클로린이 정의한 ‘효과’는

에서 뉴턴의 유율법과 모멘텀 개념을 활용하여 하사식 수차처럼 유체의 충돌에 의해 작동하는 엔진의 경우 엔진에 제공한 힘과 물체의 무게가 9 대 4의 비율이 될 때 결과적인 능률, 즉 엔진에 제공한 모멘텀에 대한 물체의 모멘텀이 4/27로 최대값이 된다는 것을 보이기도 했다.¹⁸⁾

이처럼 통념과 달리 스미턴 이전의 자연철학자들이 엔지니어링에서 중시되는 능률에도 깊은 관심을 갖고 있었다는 사실은 맥클로린보다 더욱 실용적인 문제에 천착하고 실제 엔지니어링 작업에도 관여한 바 있는 18세기 전반의 또 다른 뉴턴주의 실험철학자 데자글리에(John Theophilus Desaguliers, 1683-1744)에게서 더욱



분명히 드러났다. 더욱이 그는 1744년에 출간하여 큰 영향을 미친 □ 실험철학 강의(*A Course of Experimental Philosophy*)□ 2권에서 파랑 이후 당연시되고 있었으며 맥클로린의 계산에 의해 추인되기도 한 수차의 능률에 관한 이론 중 한 가지를 검증할 수 있는 실험용 기계장치를 소개하기도 했다. 파랑에 따르면 수차에서 가장 큰 효과를 얻을 수 있는 조건은 수차의 회전 속도가 물의 속도의 1/3일 때였고, 데자글리에 역시 그 결과를 의심하지는 않았다. 그럼에도 그는 바커 박사가 자신에게 알려준 장치<그림 1>를 소개하며 이를 이용하면 널리 알려진 파랑의 이론을 실험적으로 입증할 수 있을 것이라고 주장했다. 비록 그 실험결과가 남아있지는 않으나 데자글리에에는 이 장치의 모형을 직접 만들어 왕립학회에서 실연하기까지 했다.¹⁹⁾

<그림 1>은 수차의 기계(기계)로, 이는 이후 스미턴이 실용역학적 ‘동력’으로 개념화한 값과 알려지지 않았다. 한편, 맥클로린과 같은 이들의 요청이 있었음에도 불구하고, 스미턴 이전까지의 *A Course of Experimental Philosophy*는 입력값을 제대로 고려하지 못했기 때문에 입력값과 출력값의 정확한 비율을 통해 효율의 개념을 마련한 데자글리에의 ‘효율성(efficiency)’을 탐구했다기보다는 큰

5. 출력값만을 추구하는 ‘유효성(effectiveness)’을 추구하고 있었다. Jennifer Karns Alexander, *The Meaning of Efficiency* (Ph. D. Dissertation at University of Washington, 1996). 그러나 본 논문에서는 효율성과 유효성을 특별히 구별하지 않고 둘 모두를 능률(출력값÷입력값으로 정의)로 지칭할 것이다.

18) Idem, *Treatise of Fluxions* (London, 1742), p. 728.

19) 이 장치의 원리는 다음과 같다. 그림의 통 EFGH에 물을 부으면 이 물은 가운데 세워진 수로를 통해 낙하하여 아래의 통 IK에 반대편으로 각각 뚫린 구멍으로 뿜어져 나오게 된다. 이때 물의 반작용으로 통 IK는 회전하게 되고 그 속도를 측정하면 물의 충격으로 인해 회전하게 되는 수차의 날개의 속도에 해당하는 값을 얻을 수 있다. 그리고 통 IK에 충격을 가하기 전의 물의 유속은 물의 수두(head: 특정한 수압을 내는데 필요한 물기둥의 높이)와

나아가 데자글리에는 파랑이나 맥클로린은 사실상 고려하지 않았던 상사식 수차와 하사식 수차의 능률을 비교했다. 데자글리에에 따르면, “잘 만들어진 상사식 수차의 경우 하사식 수차보다 같은 시간 동안 10배 적은 물을 가지고 동일한 양의 곡물을 뿜을 수 있[었]다.” 이는 물의 입력값을 고려할 때 상사식이 하사식보다 대략 4배 더 효율적임을 뜻했다. 또한 데자글리에는 상사식 수차도 하사식 수차처럼 물로 충격을 가해야 할지, 아니면 가능한 한 충격이 없도록 만들어야 할지를 묻고는 현재로서는 충분한 실험적 결과가 없는 까닭에 확실한 대답을 할 수는 없다고 언급하기도 했다.²⁰⁾

이처럼 스미턴 이전의 자연철학자, 실험철학자들 역시 수차에 깊은 관심을 갖고 그 원리를 밝혀 실제 작업현장에서 사용되는 수차의 효율성을 높이하고자 했다. 그리고 이러한 탐구의 근저에는 공히 뉴턴의 자연철학적 원리와 역학법칙이 놓여 있었다. 물론 차이도 존재했다. 여전히 이론적 설명에 치우친 이들이 있는가 하면, 실험을 통한 검증을 내세우며 직접 모형을 제작하고, 실연까지 수행한 이들도 있었다. 예컨대 전자에 속한 맥클로린과 같은 이들이 유율법을 통해 수학적 연역의 힘을 보이려 했다면, 후자의 흐름에 있던 데자글리에와 같은 이들은 실험을 중시하고 이를 모멘텀과 같은 역학 개념과 연결하려 했다. 요컨대 산업화의 진전에 따라 동력원에 대한 사회적 수요가 증가하고, 그에 발맞춰 수차를 뉴턴의 자연철학적 원리를 이용해 이론적으로 분석하려는 노력과 구체적인 실험장치를 통해 실험적으로 탐구하려는 노력이 활발히 시도되고 있는 상황, 이것이 스미턴이 수차연구에 뛰어들기 전 18세기 중엽 영국의 모습이었다.

III. 존 스미턴의 수차모형 실험과 그 함의

스미턴이 18세기 중엽 이후 변화하는 영국 사회의 모습에 대응한 방식은 그가 수력과 충돌에 관한 연구를 위해 고안한 모형과 기계장치에서 특징적으로 드러났다. 우선

유속에 관한 토리첼리 이래의 연구를 통해 널리 알려져 있었으므로 이를 이용해 낙하하는 물의 높이로부터 유속을 구하면 이것이 수차에 충돌하기 전의 물의 유속이 된다. 이제 두 값을 비교하면 물의 유속과 물의 충격으로 회전하는 수차의 속도의 비를 구할 수 있다. 한편 오른 편에 있는 추는 통 IK의 회전을 통해 수차가 물체에 가하는 효과의 크기(추의 무게 * 추의 속도)를 측정하는 장치인데, 이를 통해 물과 수차의 특정한 속도 비율에 상응하는 수차의 능률을 계산할 수 있다. J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy* (London, 1744), Vol. II, pp. 453-459. 한편, 데자글리에에 관해서는, Larry Stewart, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain*; Jeffrey R. Wigelsworth, “Competing to Popularize Newtonian Philosophy: John Theophilus Desaguliers and the Preservation of Reputation,” *Isis* 94 (2003), pp. 435-455를 보라.

20) J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, p. 532.

스미턴이 제작한 모형과 기계장치는 와트가 증기기관 연구에서 사용한 모형과 마찬가지로 일상생활이나 산업 현장에서 실제로 사용할 것을 염두에 두고 만들어졌을 뿐만 아니라 실제로 그 연구결과가 광범위하게 적용됐다는 점에서 남다른 의미가 있었다. 터빈 기술과 열역학 발전에 공헌한 바 있는 엔지니어 피터 이와트(Peter Ewart, 1767-1842)는 1808년 “50여 년 전만 하더라도 하사식 수차가 지배적이었는데” 스미턴이 상사식 수차가 하사식 수차보다 2배나 효율적이라는 것을 보임으로써, “이제는 하사식 수차를 구경하기도 힘들다” 고 언급했고, 심지어 1827년 기계공학 엔지니어 존 파레이(John Farey, 1791-1851)는 스미턴의 실험적 발견으로 인해 증기기관을 영국의 제조업에 도입하는 것이 수십여 년이나 지연됐다고 지적했다. 실로 수력은 19세기 초엽까지도 영국의 지배적인 동력원으로서의 지위를 잃어버리지 않았다.²¹⁾

스미턴이 제작한 모형과 기계장치가 남달랐던 더욱 중요한 측면은 그가 그러한 장치를 이용한 여러 실험을 통해 데카르트, 라이프니츠, 그리고 뉴턴의 이름까지 거론되던 자연철학의 오랜 논쟁거리, ‘살아 있는 힘(vis viva)’에 대한 철학자들의 논쟁 속으로 뛰어들었을 뿐 아니라, 뉴턴주의 자연철학자들의 이론에 이의를 제기하고 나선 데 있었다. 사실 논쟁의 불씨는 스미턴이 때로는 참고하고 또 때로는 비판한 선행 철학자들의 논의에 잠재돼 있었다. 맥클로린과 데자글리에와 같은 뉴턴주의자들이 뉴턴 자연철학의 원리를 지침으로 삼아 엔지니어들의 실제 작업을 이끌 수 있다고 주장하고 있었던 것이다. 데자글리에에 따르면, “[수학적 이론에 의해 이끌려진] 규칙이 존재하지 않는다면 기계 제작 작업은 어림짐작으로 진행될 수밖에 없을 것이었다.”²²⁾ 이론은 실재를, 자연철학은 엔지니어링을 이끌 수 있고, 또한 이끌어야 한다는 것이 이들의 주장이었다.

더욱이 그들의 논의는 단순한 수사를 넘어 구체적인 수차연구로도 이어졌으며 18세기 영국 사회에서 이러한 활동은 철학자들의 여기가 아니라 진지한 탐구로 여겨지고 있었다. 예컨대 앞서 살펴본 것처럼 맥클로린과 데자글리에에는 방법론적으로는 상이한 접근법을 취하고 있었음에도 수차 연구의 바탕에 뉴턴의 역학법칙과 모멘텀 개념을 깔고 있다는 점에서는 공히 뉴턴의 사도라 불릴만했다.²³⁾ 그러므로 스미턴이 이러한 논쟁에

21) 스미턴의 수차 연구는 스미턴 자신이 직접 설계하고 건축한 수차들은 말할 것도 없고 그 이후 다른 이들이 건설한 수차의 디자인에도 큰 영향을 미쳤다. 엔지니어들은 가능하다면 더 효율적인 상사식을 건설하려 했고, 그것이 가능하지 않다면 상사식과 하사식을 혼합한 수평축 방식(breast wheel)을 채택했다. Paul N. Wilson, “The Waterwheels of John Smeaton,” *Transactions of the Newcomen Society* 30 (1955), pp. 25-48; A. W. Skempton, ed., *John Smeaton*, pp. 253-256. 이와트와 파레이의 언급은 Terry S. Reynolds, “Scientific Influences on Technology,” pp. 291-292에서 재인용.

22) J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, p. 1.

23) 각주 6의 문헌들이 이러한 분위기를 잘 보여주고 있다. 최근의 역사적 성과를 반영한

개입한 것은 그가 의도했건 의도하지 않았건 뉴턴주의의 이름으로 자연철학의 힘을 과시하려는 이들의 눈에는 수차의 능률이라는 실용적인 엔지니어링의 문제를 넘어서서 ‘살아 있는 힘’에 관한 자연철학적 논쟁의 장으로 뛰어드는 것으로 비칠 수밖에 없었다.²⁴⁾

이론과 실제, 이론과 이론 간의 괴리는 스미턴이 본격적인 수차연구에 뛰어들기 전부터 존재했다. 스미턴은 이미 경험을 통해 파랑이 주장하고 맥클로린이 추인한 하사식 수차의 최대 능률이 실제보다 터무니없이 작다는 것을 감지하고 있었다. 그러나 그가 상사식과 하사식의 차이까지 확신하고 있었던 것은 아니었다. 많은 이들이 물의 무게로 수차를 돌리는 상사식이건, 중력으로 인해 속도를 획득한 물의 충격력으로 수차를 회전시키는 하사식이건, “중력은 같은 거리를 운동하는 같은 양의 물체에 작용하기 때문에” 둘 사이에 아무런 차이가 없다고 생각했고, 수차 모형실험을 하기 전 스미턴의 예상 역시 그와 다르지 않았다. 그러나 실험 후에 드러난 사실은 이러한 추론이 아무리 그럴 듯하다 해도 “낙하하는 물체에 [작용하는] 중력의 효과는 [물과 같은] 비탄성 물체의 타격 효과와는 완전히 다르다”는 것이었다.²⁵⁾

스미턴은 상사식과 하사식 수차의 능률을 하나의 장치를 통해 계산하기 위해 수차를 향해 빠져나가는 물의 높이를 조절할 수 있는 모형 수차<그림 3>를 고안하고, 여기에 유속을 조절하는 장치, 한 번에 정해진 양의 물을 퍼 올리는 펌프, 물의 순환을 원활하게 해 주는 구조를 갖춘 수조, 수두를 조절할 수 있는 장치를 덧붙였다. 두 가지 형태의 수차 사이에 아무런 차이가 없을 것이라고 생각했다면 그가 이러한 모형을 만든 이유는 무엇일까? 자신의 일관된 연구 스타일에 따라 스미턴은 수차모형을 고안하기에 앞서 선행연구들을 검토했다. 그가 발견한 것은 엄청난 이론적 불일치였다. 당대 굴지의 수리학 저자 벨리도르(B. F. de. Belidor, 1698-1761)의 *수로 건축술* (*Architecture Hydraulique*)에 따르면 하사식 수차는 상사식 수차보다 6배나 많은 일을 할 수 있었다. 반면 데자글리에의 *수 실험철학 강의*에서 상사식 수차가 하사식 수차보다 10배가량 효율적이라고 주장한 적이 있었다.²⁶⁾ 스미턴이 발견한 것은 60대 1이라는 엄청난 차이였다. 그런 점에서 스미턴의 모형 수차는 당대의 이론 맥락에서 스미턴의 문제의식 자체를 구현한 것이라 할 수 있었다.²⁷⁾ 스미턴은 하사식과

Oxford Dictionary of National Biography (<http://www.oxforddnb.com>, 2008년 11월 30일)의 맥클로린, 데자글리에 항목 역시 두 사람에 관한 간략하나 훌륭한 정보를 제공하고 있다.

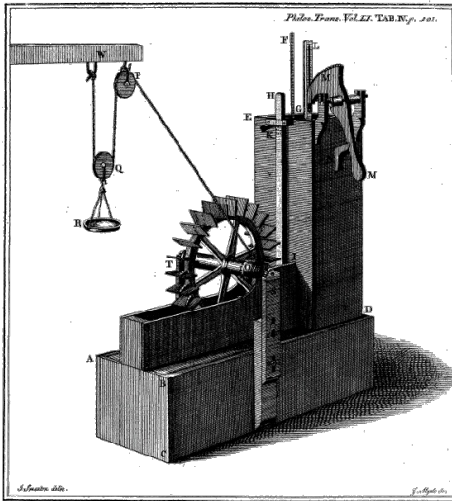
24) Simon Schaffer, “Machine Philosophy.”

25) John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind,” p. 125.

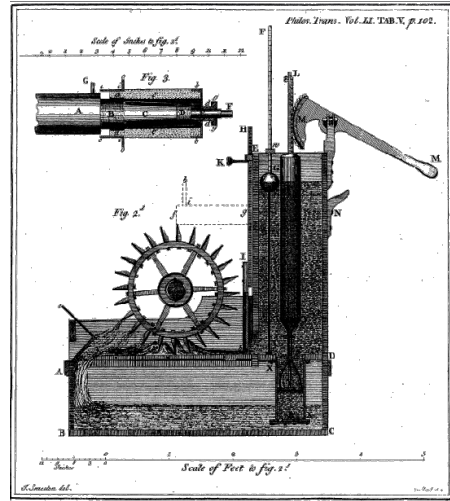
26) 물의 입력값을 고려하면 상사식은 하사식보다 4배가량 효율적이다. 스미턴은 이를 고려하지 않고 데자글리에의 설명을 그대로 인용했는데, 데자글리에 역시 단순히 입력값이 다르다는 것을 언급했을 뿐 그것을 능률 계산에 고려하여 비교하지는 않았다.

27) Ibid., pp. 101-105; idem, “An Experimental Examination of the Quantity

상사식 수차를 하나의 모형에 통합함으로써 여러 조건의 실험결과를 일률적으로 비교, 대조할 수 있었다. 베어드의 주장처럼 파랑과 같은 이론가들이 능률을 이론적 변수로 나타내고 그 변화를 미분을 통해 계산한 것에 반해 스미턴은 물리적 모형에서 각종 조절장치를 변화시킴으로써 능률의 변화 추이를 실험을 통해 직접 확인할 수 있었던 것이다. 요컨대 정확한 실험가의 정밀한 실험이 이론적 난맥상을 타개할 돌파구를 마련하고 있었다.²⁸⁾



<그림 2> 스미턴의 수차 모형 모식도.



<그림 3> 수차 모형의 측면 투영도.

출처: John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind.”

스미턴의 모형 수차에는 더욱 논쟁적인 전제가 함축돼 있었다. 수차에 가해지는 동력과 수차가 실제로 수행하는 일을 비교하기 위해서는 어떤 방식으로든 비교의 기준을 마련해야 했다. 스미턴은 1759년 논문의 서두에서 곧바로 “지금까지 논쟁의 원인이 되어온 용어”를 문제 삼았다. 그는 실용역학(practical mechanics)을 옹호하면서

출처: John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind.”

and Proportion of Mechanic Power Necessary to be Employed in Giving Different Degrees of Velocity to Heavy Bodies from a State of Rest(이하 Quantity and Proportion of Mechanic Power),” *PTRS* 66 (1776), pp. 450-475, esp. pp. 454-455.

28) 이런 점에서 베어드는 스미턴의 모형이 파랑의 이론적 모형과 동등한 기능을 수행한 물리적 모형이라고 주장했다. 특히 스미턴의 물리적 모형은 당대의 이론보다 수차에 대한 더 나은 표상을 제공함으로써 우월한 결과를 낼 수 있었는데, 예컨대 물이 수차와 만나는 지점을 직접 물리적으로 변화시킬 수 있었기에 이론적 모형보다 탁월한 통찰을 제공할 수 있었다. 일과 에너지 개념이 정립되지 않은 상황에서 이론적 작업을 통해 이러한 조작을 하기는 쉽지 않았으므로 스미턴은 파랑 등의 이론가들이 인식하지 못한 문제를 파악하고 해결할 수 있었다는 것이다. Davis Baird, *Thing Knowledge: a Philosophy of Scientific Instruments* (Berkeley: University of California Press, 2004), pp. 21-40을 보라.

자신은 거기서 사용하는 ‘동력(power)’이라는 용어를 채택할 것이라고 강조했다. 문제는 동력의 측정법이였다. 스미턴에 따르면 “들어올린 [물체의] 무게와 정해진 시간동안 [그 물체를] 들어 올린 높이를 곱한다면, 그 결과값이 [그 물체를] 들어 올리는 동력”에 대한 가장 적절한 “측정치”였다.²⁹⁾ 상반된 입장의 철학자들이 주장하는 철학적 개념이 아니라 현장에서 검증된 실용역학의 개념을 논의의 중심에 두겠다고 선언했던 것이다.

스미턴이 상사식과 하사식을 구별하여 그 능력을 비교할 수 있는 모형을 만들고 그 비교의 기준을 실용역학적 동력에 둔 것이 왜 당시의 이론적 맥락에서 쉬운 일이 아니었을까? 스미턴이 참조한 많은 논자들, 특히 영국의 뉴턴주의자들은 모멘텀 개념을 근간으로 수차의 작동을 이해했다. 그러나 모멘텀이 동체가 가진 ‘힘’, 혹은 ‘운동의 양(quantity of motion)’을 표상한다는 주장은 라이프니츠주의자들에 의해 강한 반론에 직면해 있었다. 그러므로 스미턴이 특정한 철학적 입장을 고수하고 있었다면 선행 연구들을 ‘객관적인’ 눈으로 검토할 수는 없었을 것이다. 그런 점에서 그는 특정 자연철학자 집단의 독단적 전제에 물들지 않은 이점을 누리고 있었다. 그러나 스미턴이 ‘객관적인’ 눈으로 바라보았다는 말이 그가 아무런 기준도 갖고 있지 않음을 뜻하지는 않았다. 이는 그가 실용역학적 동력 개념을 채택한 것에서 분명히 드러났다. 스미턴은 실용역학적 동력이어야말로 당시의 어지러운 용어 문제를 정리해 줄 것이라 생각했고, 그가 제작한 모형 속에는 바로 그러한 동력 개념이 구현돼 있었다. 그러므로 당대인들의 눈에 비친 스미턴의 모형 수차는 정교한 모형과 정밀한 실험의 표본 이상이었거니와, 당시의 이론적 맥락에서 상당히 논쟁적인 개념을 도입하고 있었다. 그러나 이러한 문제가 전면화된 것은 그가 실용역학적 동력을 확장하여 역학 전반을 재구성하는 개념으로 내세우면서부터였다³⁰⁾

수차 모형실험의 논쟁적 성격은 그 결론에서 더욱 두드러졌다. 스미턴은 유속이 2배가 될 때 그 효과는 4배가 아니라 8배가 된다고 데자글리에의 주장을 반박했고, 파랑 이후 데자글리에, 맥클로린과 같은 일급의 저자들이 믿어 오던 것과 달리 하사식 수차의 능력은 $4/27$ 가 아니라 적어도 $1/4$ 이며, 심지어 수차의 크기가 증가함에 따라 그 값은 이론적 한계로 여겨지는 $1/2$ 에 가까워진다고 주장했다. 또한 최대 능력은 수차의 속도가

29) John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind,” p. 105. 오늘날의 물리학 개념으로 보자면 스미턴의 ‘동력’ 개념은 사실상 일률 개념과 동등하다. 단, 스미턴은 1초가 아니라 임의의 정해진 시간(1분)을 상정하여 계산했다는 점에서 차이가 있다. 한편, 스미턴은 ‘동력’의 수식어로 ‘실용역학에서 사용되는(used)’, 혹은 ‘실용역학에 적용되는(applied)’이라는 구절을 사용했는데, 이하에서는 이러한 스미턴식의 용법을 특징하기 위해 ‘실용역학적 동력’이라는 용어를 사용하겠다.

30) 상사식과 하사식의 구분 자체를 어렵게 한 당대의 지배적 입자철학의 영향도 스미턴의 시도가 간단한 일은 아니었음을 함의한다. 이에 관해서는 각주 11을 보라.

유속의 1/3일 때가 아니라 1/2일 때 달성된다는 결론도 실험적으로 도출되었다. 이 역시 파랑, 맥클로린, 데자글리에의 주장과 배치됐다. 상사식 수차에서는 더욱 놀라운 결과가 도출되었다. 데자글리에처럼 경험적 정보를 종합한 저자들의 추정과 달리 상사식 수차는 하사식 수차보다 2배가량 높은 능률을 나타냈고 그 값은 평균 2/3인 것으로 밝혀졌으며 나아가 그 이론적 한계는 1인 것으로 추정되었다. 이는 하사식이 더 효율적이라고 생각한 벨리도르와 같은 이들의 결론이 완전히 틀렸다는 사실은 물론, 두 종류의 수차를 구별하지 않은 이들의 이해가 불충분했다는 점 역시 확연히 드러난 결과였다.³¹⁾

이러한 결과에 대해 스미턴이 제기한 문제는 크게 두 가지였고 이는 새로운 기계장치 실험으로 이어진 중요한 이유가 되었다. 첫 째, 왜 이전의 엔지니어들과 철학자들은 오류를 범했을까? 스미턴이 보기에 선행 연구자들은 타당한 근거 없이 특정한 철학적 개념들을 전제한 채 수차에 관한 논의를 전개하고 있었다. 문제는 하사식 수차에서 두드러졌다. 하사식은 상사식과 달리 물이 수차에 충돌함으로써 물이 가진 동력을 수차에 전달하는 구조를 갖고 있었으므로 물의 동력을 측정하는 방법과 물의 동력 중 수차에 전달되는 양을 계산하는 방식이 하사식 수차에 관한 논의의 핵심 부분을 차지하고 있었다. 스미턴이 보기에 기존의 철학자들은 이러한 과정에서 엄격한 실험적 근거 없이 자신들이 전제한 개념을 적용하여 이론적 결론을 이끌어 내고 있었다.³²⁾

여기서 주목해야 할 대목은 같은 뉴턴주의자라 하더라도 맥클로린과 달리 데자글리에와 같은 이들은 파랑의 이론을 비롯하여 당시 당연시되고 있던 몇몇 수차 관련 이론들의 실험적 검증 가능성을 언급했다는 점이다. 비록 데자글리에 역시 맥클로린처럼 뉴턴의 모멘텀과 같은 개념을 의문시하지는 않았으나 맥클로린이 그러한 개념들에서 연역적으로 파랑의 이론을 도출하는 데 집중한 것에 반해 데자글리에에는 그러한 계산을 실제와 견주어 보려 했던 것이다. 그러므로 스미턴이 데자글리에의 몇몇 결론을 부정했다고는 해도 이론을 실험적 토대 위에 세워야 한다고 생각한 대목에서는 데자글리에와 동일한 입장을 견지했던 셈이다. 그러나 그저 철학자들의 개념과 이론을 비판하고 기각하는 것이 스미턴의 목적은 아니었다. 그에게도 이론과 자연철학은 중요했다. 그렇지 않았다면 수차의 제작과 관련해서는 이미 실용적 결과들을 모두 얻어놓은 상황에서 후속 연구를 지속할 필요는 없었을 것이다.³³⁾ 실험이 기존의 이론에

31) John Smeaton, "Quantity and Proportion of Mechanic Power," pp. 456-457.

32) Ibid., pp. 452-458.

33) 스미턴이 제작한 수차모형은 매개변수 변화 방법론에 적합한 구조로 만들어졌고 그 결과 1759년 논문에서 얻은 결과들은 모두 각 변수가 변화할 때 수차의 능률이 어떤 식으로 달라지는지를 기술하는 명제 형식으로 기술돼 있었다. 다시 말해 스미턴이 제시한 결론들은 곧바로 수차 디자인에 원용하기 쉬운 실용 매뉴얼의 형태로 기술돼 있었던 것이다. 이에 관해서는, Julián Simón Calero, *The Genesis of Fluid Mechanics, 1640-1780* (Dordrecht: Springer, 2008), pp. 232-233를 보라.

문제가 있음을 암시하고 있다면 그러한 이론을 뒷받침하고 있는 더 상위의 이론 내지 원리 역시 실험적 검증의 대상이 되어야 했다. 그런 점에서 스미턴은 데자글리에의 정신을 더 강하게 밀고 나갔고, 이어진 스미턴의 연구(1776년)는 여전히 남아 있는 이론적 혼란을 타개하기 위한 실험적 시도였다.

다음으로 스미턴은 하사식 수차가 상사식 수차보다 낮은 능률을 보이는 이유를 묻고 거기에 답하려 했다. 그의 추론은 하사식 수차의 경우 물이 수차의 날개에 충돌할 때 그 모양이 변화하면서 동력의 일부를 잃어버린다는 것이었다.³⁴⁾ 동력이 물체의 모양 변화와 연관된다는 이러한 추론은 스미턴을 또 다른 기계장치 실험(1782년)으로 이끌었다. 이 실험으로 인해 스미턴은 ‘살아 있는 힘’ 논쟁과도 얽혀 있던 또 다른 자연철학적 논쟁, 즉 물질의 탄성 및 본성의 문제에 개입하게 되었다. 실용적인 엔지니어의 입장에서는 상사식 수차와 하사식 수차의 정확한 능률을 알고 그 값을 비교할 수 있다면 그것으로 충분하지 않았을까? 스미턴의 생각은 달랐다. 하사식 수차가 낮은 능률을 보이는 이유를 알아낸다면 그것은 어떤 종류의 수차에서건 높은 능률을 위해서는 피해야 할 요소가 될 것이었다. 예컨대 물의 충돌로 인한 동력의 소모가 문제라면 상사식 수차에서도 물로 충격을 가하는 것이 좋을 것인가라는 데자글리에의 물음에 쉽게 답할 수 있었을 것이다. 더욱이 하사식이 낮은 능률을 보이는 문제에 대한 이론적 설명은 하사식과 상사식 수차의 최대 능률을 추론할 수 있게 했고 이처럼 물에서 뽑아낼 수 있는 일의 최대치를 알아내는 것은 실제 작업 현장에서 투여할 자원의 경제성과 밀접한 관련이 있었다. 데자글리에 역시 그와 같은 이론적 이해의 실용적 중요성을 설파한 적이 있었다. 그에 따르면, 우리가 자연철학의 원리를 깨닫게 되면 장인들의 주먹구구식 행태를 바로잡을 수 있음은 물론, 기계를 통해 터무니없는 이익을 거둘 수 있을 것이라 주장하는 사기꾼들의 감언이설로부터 스스로를 보호할 수도 있을 것이었다.³⁵⁾ 올바른 자연철학적 이해는 엔지니어링의 실질적 한계를 설정해 줄 수 있었던 것이다.

34) John Smeaton, "Natural Powers of Water and Wind," p. 114, p. 130.

35) J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, p. viii.

IV. 실용역학적 동력에서 역학적 동력으로

스미턴에 의해 수차에 관한 주요 선행 이론들은 상당 부분 부정되었다. 스미턴이 보기에 선행 이론들은 “적절한 부대조건에는 주목하지 않은 채 ... 뉴턴의 정의[만] 가지고 추론” 하는 문제를 안고 있었다. 그가 생각한 적절한 부대조건이란 추동력(impelling power, 오늘날 물리학의 힘에 해당)이 작용한 시간과 거리였다. 그리고 이는 ‘살아 있는 힘’ 논쟁과도 밀접한 관련이 있었다. 1776년 《철학회보》에 발표한 논문의 서두에서 스미턴은 해묵은 ‘살아 있는 힘’ 논쟁을 거론하면서 이를 몇몇 뉴턴주의 수리철학자, 자연철학자들의 수차에 관한 오류와 결부했다. 스미턴이 다소 추상적으로 보이는 철학적 논쟁에 끼어든 이유는 분명했다. 역학의 법칙들은 수차와 같은 기계의 작동원리를 이해하고 그것을 제작하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것이나 그러한 법칙을 올바로 파악하지 못하거나 실제 기계에 엄밀하게 적용하지 못할 경우 그 피해는 막대할 것이 분명했다.

... 나 자신과 실제 현업에 종사하는 명인(artist)들뿐 아니라 가장 인정받는 몇몇 저자들마저도 주의를 기울여야 할 부대조건을 때때로 망각하거나 간과함으로써 저 철학적 학설들을 실용역학에 적용하는 와중에 쉬 오류에 빠지곤 했다 ... 그러한 오류들 중 몇몇은 그 자체로도 중요하나 무엇보다 공공에게도 지대한 결과를 초래한다. 그것들이 매일 수행하는 작업들과 종종 엄청난 돈을 들여 시행하는 작업들에서 실무에 종사하는 기술자들을 크게 오도할 수 있기 때문이다.³⁶⁾

그러한 오류의 예로 스미턴이 지적한 저자들에는 파랑이나 벨리도르처럼 엔지니어링 전통에 속한 이들과 맥클로린, 데자글리에처럼 자연철학 전통에 속한 저자들이 함께 나열돼 있었다. 그리고 이에 대한 반박으로 스미턴은 자신이 1759년 논문에서 발표한 실험적 결과들을 원용했다.³⁷⁾

문제는, 스미턴이 거론한 논자들 중 맥클로린과 데자글리에와 같은 뉴턴주의자들이 뉴턴의 모멘텀 개념을 이용해 수차에 관한 이론을 도출했다는 사실이었다. 만약 수차에 관한 뉴턴주의자들의 이론이 오류로 밝혀졌다면 모멘텀 개념은 기각되어야 하는 것이 아닐까? 그리고 그에 맞서 ‘살아 있는 힘’을 주장하는 라이프니츠주의자들의 입장이 채택되어야 하는 것이 아닐까? 그러나 이는 이후 스미턴의 주장을 반박한 케임브리지 뉴턴주의 자연철학자들이 생각한 반대자들의 논리였다. 이러한 구도에서는 스미턴의

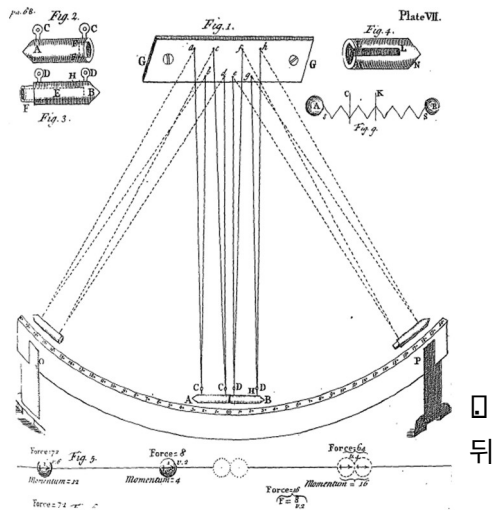
36) John Smeaton, “Quantity and Proportion of Mechanic Power,” p. 452.

37) Ibid., pp. 452-457.

주장 역시 반뉴턴주의자의 계보에 놓이기 십상이었다.³⁸⁾ 그러나 스미턴이 보기에 두 입장의 진위는 선형적으로 밝혀질 문제가 아니라 실험적으로 검증해 보아야 할 문제였다. 더욱이 그는 두 입장이 양립 불가능하다고 예단하지도 않았다. 스미턴이 적절한 부대조건을 강조한 것은 바로 그 때문이었다.

이를 입증하기 위해 스미턴은 새로운 기계장치를 고안하고 이를 이용한 실험을 준비했다.³⁹⁾ ‘뉴턴의 정의만 가지고 추론’ 하던 지난 철학자들의 오류를 해소하기 위해 스미턴은 선행 철학자들처럼 속도나 속도의 제곱을 기준량으로 미리 가정하지 않았다. 다시 말해 그는 뉴턴주의 자연철학자들이 사용하는 ‘운동의 양(물질의 질량과 그 속도를 곱한 값)’ 혹은 동체의 ‘모멘텀’을 사용하지 않았고, 그에 대립하여 ‘동체의 힘(물질의 질량과 속도의 제곱을 곱한 값)’ 혹은 ‘살아 있는 힘’을 주장하는 라이프니츠주의자들의 개념을 채택하지도 않았다. 용어의 정의야 어떠하든 간에 “그 용어가 사용되는 부대조건을 잘 고려하기만 한다면, 계산의 관점에서는 같은 결론이 도출될 것” 이기 때문이었다.⁴⁰⁾ 스미턴의 의도는 뉴턴주의적 학설이나 라이프니츠주의적 학설 중 하나를 택해 다른 입장을 비판하는 것이 아니었다. 그는 용어가 사용되는 부대조건을 잘 고려하기만 한다면 두 학설에 적절하면서도 실험적으로 검증 가능한 실질적 의미를 부여할 수 있을 것이라고 생각했다.

물론 맥클로린처럼 대다수의 뉴턴주의자들이 라이프니츠주의적 학설을 결코 인정하지 않았다고 해도, 스미턴처럼 두 자연철학 전통에 각각 적절한 위치를 부여할 수 있다고 생각한 뉴턴주의자가 없었던 것은 아니다. 예컨대 데자글리에 역시 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’ 모두가 실험적으로 측정할 수 있는 의미 있는 양이라고 생각했다. 실로 데자글리에의 자신의 책 □ 실험철학 강의 2권이 1권이 출판된 후 10여년이나 흐른 뒤늦게 출판된 사정 중 하나로 바로 이 문제에 관한 장고를 꼽았다. 같은 책에서



<그림 4> 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’이 양립 가능한 개념임을 보이기 위해 데자글리에가 소개한 기계장치

38) Simon Schaffer, “Machine Philosophy”, 출처: J. T. Desaguliers, A Course

39) John Smeaton, “Quantity and Proportion of Mechanical Power”, pp. 1457-458.

40) Ibid., pp. 451-452. 이하에서는 용어의 통일을 위해 ‘운동의 양’과 ‘동체의 힘’ 대신 각각 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’을 사용할 것이다.

그는 네덜란드의 뉴턴주의 자연철학자 그라베상드(Willem Jacob's Gravesande, 1688-1742)의 실험 이후 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’ 이 각기 다른 방식으로 측정할 수 있는 양립 가능한 자연철학적 개념임을 깨닫게 됐다고 설명했다. 데자글리에에 따르면, 양편의 논쟁자들은 “힘이라는 [같은] 말로 서로 다른 것을 지칭하고 있었다” 는 점에서 모든 논쟁은 기실 “말에 관한 논쟁” 일 뿐이었다.⁴¹⁾

두 입장을 조화시킬 수 있음을 실험적으로 보이기 위해 데자글리에 역시 기계장치 하나를 소개했다. 탄피 모양의 두 개의 진자로 구성돼 있는 이 장치는 사이에 화약을 내장하고 있어 폭발 시 그 충격으로 두 진자가 양편으로 튕겨 올라가는 구조로 돼 있었다. 진자의 내부는 흙으로 채워져 있어 폭발의 충격을 받으면 흙 내부에 흠이 생겨 그 깊이로 순간적인 충격의 정도를 가늠할 수 있었다. 데자글리에의 설명에 의하면 화약 폭발 뒤 두 물체가 움직인 높이를 측정하면 물체의 속도를 구할 수가 있고 이를 진자의 무게와 곱하면 반대로 튕겨 나간 두 진자의 모멘텀의 크기가 항상 일치함을 알 수 있었다. 곧 물체에 가해지는 “순간적인 힘” 은 모멘텀에 비례했다. 한편, 진자 내부에 생긴 흠의 깊이를 비교해보면 그 비는 진자의 질량에 진자의 속도의 제곱을 곱한 값에 비례함을 알 수 있었다. 곧 충격의 “전체 효과” 는 ‘살아 있는 힘’ 에 비례했다. 요컨대 두 힘 개념은 서로 상이한 현상을 포착하는 양립 가능한 개념이라는 것이 데자글리에의 주장이었다.⁴²⁾

나아가 데자글리에에는 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’ 을 통합적으로 이해할 수 있는 이론적 추론을 제시했다. 그는 물질의 기본 입자를 완전 강체로 상정한 뒤, 물체가 충돌할 때 이들 내부의 구성 입자들이 물질의 특성에 따라 상이한 방식으로 충돌하여 모멘텀을 교환한 전체적 결과가 ‘살아 있는 힘’ 으로 나타난다고 설명했다. 그는 이를 예증하기 위해 하사식 수차를 끌어들었다. 데자글리에에 따르면, 하사식 수차에 부딪히는 물의 속도를 2배로 증가시킬 때 수차는 4배의 일을 하게 되나 이러한 현상으로부터 물체의 순간적 충돌의 효과가 속도의 제곱에 비례한다는 결론이 도출되는 것은 아니었다. 충돌의 효과는 모멘텀, 즉 속도에 비례했다. 그러나 속도가 2배로 증가하면 수차에 부딪히는 물 입자의 수 역시 2배로 증가할 것이고 이처럼 충돌 질량이 2배로 커짐에 따라 전체적 효과는 4배로 측정된다는 것이 데자글리에의 설명이었다.

41) J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, pp. v-vi. 프랑스의 달랑베르 역시 이 논쟁을 ‘말에 관한 논쟁’ 일 뿐이라고 일축한 바 있다. 달랑베르의 언급을 비롯하여 ‘살아 있는 힘’ 과 관련한 프랑스의 논쟁 상황을 분석한 논문으로는, Thomas Hankins, “Eighteenth-Century Attempts to Resolve the Vis Viva Controversy,” *Isis* 56 (1965), pp. 281-297; Mary Terrall, “Vis Viva Revisited,” *History of Science* 42 (2004), pp. 189-209 등이 있다.

42) J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, pp. 92-93, esp. p. 93.

그러므로 “말에 관한 어떤 논쟁이 있건” 결과는 동일할 것이고, 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’ 중 어떤 개념을 토대로 하건 “제분기는 동일한 방식으로 만들어질 것이[었]다.”⁴³⁾

데자글리에가 하사식 수차에 모멘텀을 적용한 것은 그의 철학적 구도에서는 일관적인 접근이었다. 하사식 수차는 물과 수차의 충돌에 의해 운용되는 기계엔진이었기 때문이다. 그러나 스미턴의 실험은 데자글리에의 결론을 부정했다. 이 지점에서 스미턴은 두 자연철학 전통의 중재를 위해 데자글리에와는 다른 방향으로 나아갔다. 그가 두 전통의 매개를 위해 채택한 것은 바로 자신이 정의한 실용역학적 동력 개념이었다. 그러나 스미턴은 ‘실용역학적’이란 구절을 이번에는 ‘역학적’이라는 용어로 바꿔, 실용역학적 동력을 ‘역학적 동력(mechanical power)’이라고 분명히 재명명하고 있었다. 그는 역학적 동력을 물체의 무게와 물체가 움직인 수직거리의 곱으로 정의하면서 이를 “결코 논란에 휩싸인 적이 없는 역학 법칙”, 즉 지레의 원리로부터 정당화했다. 실용역학에 기반을 둔 동력 개념을 내세워 ‘수리역학(rational mechanics)’⁴⁴⁾까지 포괄하는 역학 전반을 재구축하려는 조심스러우나 분명한 의도를 내비치는 순간이었다. 스미턴은 추동력과 역학적 동력, 그리고 물체의 속도 혹은 속도의 제공이 어떤 관계에 있는지를 밝힘으로써 기존의 철학자들의 오류가 시간과 거리라는 부대조건을 망각한 것에 있음을 보이려 했다. 즉 1686년 D 프린키피아

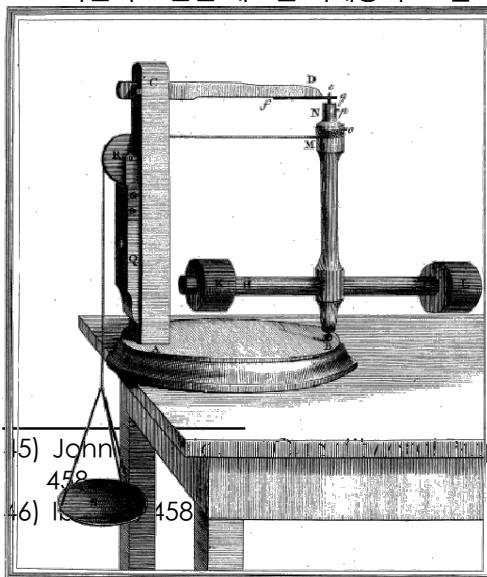
43) Ibid., pp. 62-63.

44) 18세기의 ‘rational mechanics’를 우리말로 번역하기란 쉬운 일이 아니다. ‘rational’이라는 말을 직역할 경우 오늘날의 관점에서 보자면 상당히 어색한 수식어가 되기 때문이다. 흔히 이 말과 대비되는 것이 ‘practical mechanics’이고 이를 ‘실용역학’이라고 번역한다면, ‘rational mechanics’에 대한 번역어로는 ‘이론역학’을 생각할 수 있다. 그러나 이 경우 ‘실용역학’에 대해서는 이론이라는 말을 사용할 수 없다는 점이 문제시된다. 물론 당대인들이 실용역학에 이론이 있다고 보았는지가 논란의 대상이 되겠으나, 스미턴이 실용역학적 동력 개념을 역학 전반을 재구성하는 개념으로 확장하려 한 점을 더 분명히 이해하기 위해서라도 이론이라는 용어를 ‘rational mechanics’에만 한정할 필요는 없을 듯하다. 문제는 ‘이론’의 성격이 되겠는데, ‘rational mechanics’에서 지칭하는 이론은 원리적이고 수식으로 표현되어야 한다는 점을 감안하여 여기서는 ‘수리역학’으로 번역했다. 이는 18세기의 ‘rational mechanics’가 ‘mixed mathematics’의 일부였다는 점과 때로 두 용어가 혼용되기도 했다는 사정을 반영한 것이기도 하다. 이에 관해서는 다음을 보라. H. J. M. Bos, “Mathematics and Rational Mechanics,” G. S. Rousseau and Roy Porter, eds., *The Ferment of Knowledge: Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science* (New York: Cambridge University Press, 1980), pp. 327-355; Gary I. Brown, “The Evolution of the Term ‘Mixed Mathematics’,” *Journal of the History of Ideas* 52 (1991), pp. 81-102; R. W. Home, “Mechanics and Experimental Physics,” Roy Porter, ed., *The Cambridge History of Science: Eighteenth-Century Science* (New York: Cambridge University Press, 2003), pp. 354-373.

□ 에서 뉴턴이 ‘운동의 양’ 개념을 처음 정의한 뒤로 철학자들이 끊임없이 갑론을박해 온 문제를 해소하겠다는 것이었다.⁴⁵⁾ 요컨대 스미턴의 복안은 엔지니어링 전통의 동력 개념을 통해 자연철학 내의 상이한 전통을 매개하고 궁극적으로는 자연철학과 실제의 엔지니어링을 매개하는 것, 그럼으로써 ‘[동력을 포함한] 동체에 관한 전 학설을 반석 위에 올리는 것’ 이었다.

그러나 실용역학적 동력 개념이 역학적 동력 개념으로 일반화되는 과정은 그저 개념의 재명명 과정만은 아니었다. 스미턴의 역학적 동력 개념에는 이전에 고려되던 시간 변수가 빠져 있었다. 실용역학적 동력 개념이 특정한 시간 동안 수행하는 일의 양을 측정할 수 있게 해준 데 반해 시간이라는 변수를 제거한 역학적 동력 개념은 오직 추동력과 거리의 곱으로만 정의되었던 것이다.⁴⁶⁾ 이러한 차이는 중요한 함의를 지니고 있었다. 스미턴에 따르면 동체의 동력을 둘러싼 논쟁에는 속도와의 관계에 관한 논쟁 외에도, 추동력이 작용하는 시간과 거리에 관한 논쟁까지 얹혀 있었다. 그러므로 시간과 거리 변수가 함께 고려되는 실용역학적 동력 개념으로는 양편의 입장을 중재하기가 쉽지 않았을 것이다. 그러나 실제 가시적인 효과로 측정되며 수많은 현장 경험을 통해 검증된 실용역학적 개념의 장점까지 버릴 수는 없었다. 스미턴의 선택은 시간 변수를 제외함으로써 실용역학적 동력 개념을 추상화하는 것이었다. 서로 상이한 자연철학 전통이 만나는 가운데 둘을 매개하는 실용역학 혹은 엔지니어링 전통 역시 변화를 겪고 있었던 것이다. 이처럼 새롭게 정의된 역학적 동력은 추동력과 거리라는 실측 가능한 양에 토대를 두고 있고 나아가 시간 변수를 다양한 방식으로 연계시킬 수 있다는 점에서 실용역학 혹은 엔지니어링 전통은 물론이고 추동력이 작용한 거리와 시간이 속도와 어떤 함수관계를 가지는지 밝힘으로써 상이한 자연철학 전통과도 각각 접맥될 수 있었다.

스미턴이 고안한 새로운 기계장치<그림 5>는 이와 같은 그의 의도를 충실히



구현하고 있었다. 일반화된 역학적 동력 개념에 부합하게 기계장치의 측정 기준은 왼쪽에 설치한 저울접시의 역학적 동력이었고, 실험은 그 측정치가 오른쪽에 놓인 회전체의 속도 혹은 속도의 제곱과 어떤 관계를 맺고 있는지 조사하는 방식으로 진행됐다. 문제는 시간과 거리를 분리하여 각각 조절할 수 있는 방안을 찾는 것이었다. 예컨대 새로운 기계장치는,

5) John

458

46) 15 458

portion of Mechanic Power,” pp. 457-

<그림 5> 스미턴이 역학적 동력을 측정하기 위해 새로 고안한 기계장치. 출처: John Smeaton, “Quantity and Proportion of Mechanic Power.”

동일한 추동력이 동일한 거리를 움직이는 동안 작용한다 하더라도 작용 시간에 따라 다른 결과를 낼 수 있다는 주장을 검증할 수 있어야 했다. 이를 위해 스미턴은 두 가지 세부장치를 고안하였다. 우선 그는 오른쪽에 놓인 아령 모양의 회전체 끝에 달린 물체를 좌우로 움직일 수 있게 만들었다. 다시 말해 이 물체가 회전 중심에서 바깥쪽으로 멀어질수록 회전체를 회전시키기 힘들어지고 이는 동일한 추동력으로 동일한 거리를 움직이는 동안 그 작용 시간은 길어지게 만드는 효과를 줄 수 있었다. 다음으로 스미턴은 실을 감아두는 회전체의 반경을 크고(M) 작은(N) 부분으로 나누었는데, 이 역시 저울접시가 회전체에 미치는 결과적인 힘을 변화시켜 힘이 작용하는 시간을 조절할 수 있게 해주었다.⁴⁷⁾ 요컨대 스미턴의 새로운 기계장치에도 서로 상이한 전통을 매개하려던 그의 의도가 구현돼 있었던 것이다. 그는 추동력과 시간 및 거리의 관계를 확인할 수 있는 실험장치를 통해 자연철학 내의 대립적 전통을 매개하고, 역학적 동력을 가장 확실한 측정의 기준으로 삼으로써 자연철학적 이론을 실험적 기반 위에 확고히 세우려 했다.

실험 결과, 추동력과 거리를 곱한 역학적 동력은 속도의 제곱에 비례했고 추동력과 시간을 곱한 값은 속도에 비례했다. 스미턴에 의하면 후자가 뉴턴이 참으로 의미한 바였고, “뉴턴의 정의에만 집착한 뉴턴주의자들은, 논자들이 … 시간을 고려하지 않는다고 불평하면서도 그들 스스로는 추동력이 작용한 … 거리를 전혀 고려하지 않 [음으로써]” 오류에 빠지고 말았다. 그러므로 추동력과 관련한 부대조건을 살펴봄으로써 복잡한 정의의 문제를 해소할 수 있다는 것이 스미턴의 주장이었다. 뉴턴주의자들이 주장한 모멘텀은 추동력과 시간의 곱에 해당하는 값에, 그리고 라이프니츠주의자들이 내세운 ‘살아 있는 힘’은 추동력과 거리의 곱에 해당하는 값에 각각 대응되었던 것이다.⁴⁸⁾

이러한 주장의 함의는 분명했다. 스미턴의 수차모형 실험결과는 실용역학적 동력을 토대로 한 것이었고, 이는 시간 단위를 모두 1분으로 고정한 뒤 물과 수차의 동력과, 수차가 수행하는 일을 모두 역학적 동력으로 환산하여 계산하는 방식을 취하고 있었다. 그러므로 역학적 동력이 속도의 제곱에 비례한다는 말은 스미턴의 실험결과가 속도의 제곱을 토대로 계산된다 하더라도 동일한 결론으로 귀결될 것임을 뜻했다. 그렇다면 이전의 논자들이 범한 오류는 수차 문제의 경우 추동력과 거리의 곱에 비례하는 속도의

47) 이를 오늘날의 물리학 개념으로 풀자면, 스미턴은 관성 모멘트와 토크를 조절함으로써 시간과 거리 변수를 조절한 셈이라 할 수 있다. 새로운 기계장치에 관한 설명은, *ibid.*, pp. 459-462를 보라.

48) *ibid.*, pp. 465-75, p. 473. 스미턴의 결론을 오늘날의 물리학 용어로 옮기자면, 역학적 동력은 역학적 일에, 추동력은 힘에 대응한다. 그러므로 추동력과 거리를 곱한 값은 힘과 거리를 곱한 것이 되어 역학적 일을 의미하게 되고, 이는 운동에너지로 전환되므로 속도의 제곱에 비례한다. 반면 추동력과 시간을 곱한 값은 힘과 시간을 곱한 것이므로 운동량의 변화량을 뜻하게 되고 그에 따라 속도의 변화량에 비례한다.

제곱, 혹은 ‘살아 있는 힘’을 사용해야 함에도 추동력과 시간의 곱에 비례하는 속도, 즉 모멘텀을 사용한 것에 있었던 것이다. 이는 뉴턴주의자들의 모멘텀 개념이 실재를 돕기는커녕 오류의 온상이라고 주장하는 것처럼 보였다. 다시 말해 추동력이 작용한 시간은 실용역학이나 엔지니어링에서 중요하게 측정하는 전체 효과와는 결국 무관한 것으로 읽힐 수 있었던 것이다. 그러나 스미턴은 시간 역시 실제 엔지니어링에서 나름의 의미를 지니고 있음을 주장했다. 그는 논의를 마무리하며 역학적 동력과 시간의 관계를 설명하는 구체적 사례를 제시했다.

1000턴(tun, 252갤런)의 물을 퍼 올린 뒤 이를 제분기의 상사식 수차를 통해 20피트 아래로 흘려보낸다면, 그 동력은 ... 특정한 양의 옥수수를 빻는 것과 같은 어떤 효과를 산출할 것이다. [즉] 한 시간 동안 일정한 비율로 물을 방류한다면 그것이 특정한 양의 옥수수를 빻을 것이라 생각할 수 있다. ... 이제 내가 전보다 두 배 빠른 비율로 물을 내보낸다면 물이 방류되는 시간과 제분기가 옥수수를 빻는 시간은 반으로 줄어든 것이다. [그럼에도] 역학적 동력은 동일하다. 즉 동일한 역학적 동력, 다시 말해 20피트를 낙하한 1000턴의 물에 의해 동일한 양의 옥수수를 빻은 것이다. 그러나 후자의 경우에는 전자에 걸린 시간의 절반이 소요된다.⁴⁹⁾

요컨대 스미턴의 주장은 역학적 동력이 일의 총량을 의미한다면, 시간은 그 일을 수행하는 빠르기와 관계된다는 것이었다. 이처럼 스미턴은 시간과 거리를 분리하여 실용역학적 동력을 역학적 동력으로 일반화함으로써 자연철학 내의 뉴턴주의와 라이프니츠주의의 적합한 위치를 설정했고, 그 과정에서 두 학설 각각에 현장의 경험과 실험에 의해 뒷받침되는 실질적 의미를 부여할 수 있었다. “시간과 거리를 그에 적합한 조건에서 함께 고려하지 않는다면 운동의 양, 모멘텀, 운동하는 물체의 힘과 같은 용어들은 완전히 불확정적” 일 수밖에 없었다.⁵⁰⁾

그처럼 불확정적인 개념과 원리들은 일용할 양식을 생산하는 제분기와 같은 기계의 작동원리를 이해하고, 그것을 제작하는 과정에서 큰 해로움을 줄 수밖에 없을 것이었다. 그에게 문제는 이론 자체가 아니라 잘못된 이론이었다. 그런 점에서 그는 실재를 통해 이론을, 혹은 엔지니어링을 통해 자연철학을 반박한 것이 아니었다. 철학자들의 오류뿐 아니라 결함투성이인 “실용적 이론” 들 역시 그가 개선코자 한 대상이었기 때문이다. 그는 새로운 구도에서 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링의 관계를 다시 그리고 있었다. 그랬기에 스미턴은 그러한 개념적 정리 작업이 “자연의 보편적 법칙”을 드러내는 것이며, 나아가 뉴턴의 정의와도 부합하는 것이라 주장할 수 있었다.⁵¹⁾

49) Ibid., p. 474.

50) Ibid., pp. 469-70.

51) Ibid., p. 454, pp. 469-70. 한 세대 정도가 흐른 19세기 초엽이면 스미턴의 작업이 뉴턴의 정의에 부합한다는 평가들이 등장하기 시작했다. 예컨대 화학자이자 내과의로서 왕립학회

V. 이론과 실제

이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링의 관계를 재구축하려는 스미턴의 이러한 시도에 자연철학자들이 잠자코 있지는 않았다. 스미턴이 역학적 동력과 속도의 관계를 다룬 논문을 발표하고 2년이 지난 1778년, 케임브리지 출신의 자연철학자 아이작 밀너(Isaac Milner, 1750-1820)가 한 편의 논문을 기고했다. 스미턴이 뉴턴에서 시작하여 벨리도르나 데자글리에처럼 실용역학적 연구를 수행한 이들을 거론하면서 자신의 논의를 전개한 반면, 밀너는 아리스토텔레스에서 갈릴레오, 데카르트, 라이프니츠 등을 거쳐 마침내 뉴턴으로 이어지는 계보를 읊으며 철학자들의 운동에 관한 연구사를 되짚는 것으로 논문을 시작했다. 스미턴의 준거가 실용역학에 토대를 둔 역학적 동력이었다면 밀너는 뉴턴의 운동법칙을 자신의 무기로 삼았다. 밀너는 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’을 둘러싼 논쟁에서 몇몇 교묘한 실험들이 제시되기는 했으나, 여전히 ‘수리역학’에서 충돌에 관한 올바른 이해가 정립되지는 않았다고 진단했다. 그 역시 다음과 같이 주장할 때 스미턴과 유사한 목소리를 내는 듯했다.

[충돌을 통한 운동의 전달과 관련되는] 법칙을 올바로 이해하는 것은 [이론의 문제에서만 아니라] 실제의 문제에 있어서도 가장 중요한 일이다. 엄청난 비용이 소요되는 몇몇 기획들의 성공 여부가 거기에 달려있었다.⁵²⁾

그러나 동체의 동력이 속도의 제공에 비례한다는 라이프니츠, 베르누이 등의 주장을 비판하러던 밀너였으므로 이어지는 그의 언급은 스미턴과는 다른 방향으로 나아가고 있었다.

몇몇 탁월한 명인들이 자신들의 안을 실행하는 것에 실망감을 느낀바 있고, 또한 이론과 실험 사이의 명백한 모순을 조화롭게 만드는 데도 어려움을 겪었다.⁵³⁾

밀너가 언급한 탁월한 명인에는 스미턴 역시 포함되어 있는 듯했다. 스미턴의 언급을

간사(Secretary)를 역임하기도 한 월러스턴(William Hyde Wollaston, 1766-1828)은 충돌 법칙과 ‘살아 있는 힘’ 논쟁에 관한 기존 논의들을 정리하면서 “뉴턴 역시 [관련 문제를 다루었다면] 스미턴의 정의에 부합하는 방식으로 이론을 전개했을 것” 이라고 평가했다. William Hyde Wollaston, “The Bakerian Lecture: On the Force of Percussion,” *PTRS* 96 (1806), pp. 13-22, esp. p. 16.

52) Isaac Milner, “Reflections on the Communication of Motion by Impact and Gravity(이하 Reflections),” *PTRS* 68 (1778), pp. 344-379, esp. p. 348.

53) *Ibid.*, p. 348.

염두에 둔 듯, 밀너는 이론과 실험이 일치하지 않는다고 해서 “저명한 저자들이 시간, 공간과 같은 부대조건을 간과했다고 … 주장하는 것은 합당하지 않다” 고 주장했다.⁵⁴⁾

밀너는 수학과 실험 모두를 옹호하면서도 그것을 주의 깊게 사용해야 한다고 경고했다. “기하학과 대수학은 그 원리가 잘못 정초되면 우리를 오류로 이끌 것이요, 실험 역시 극도의 주의를 기울이지 않는다면, 일반적인 연역적 결론을 도출하는 과정에서 우리를 기만하기 십상” 이기 때문이었다. 이 논문에서 밀너는 오해의 온상인 뉴턴의 운동 제3법칙(작용 · 반작용 법칙)을 실험과는 무관한 이론적 추론의 결과라 믿는 맥클로린 등의 수학철학자들과, 동체의 동력이 속도의 제곱에 비례함을 실증했다고 주장한 일군의 논자들을 동시에 비판하고 있었다. 밀너는 전자에 대해서는 수학이 아닌 실험을 내세우고, 스미턴을 포함한 후자의 사람들에 대해서는 실험의 올바른 해석문제를 제기함으로써 오해를 막고자 했다. 1783년 케임브리지 공학대학의 기원이라 할 수 있는 ‘자연 실험철학 잭슨 교수좌’ 를 맡아 케임브리지 내에서는 처음으로 공기펌프와 같은 기계의 원리뿐만 아니라 증기기관에 관한 이론까지도 가르치게 될 밀너로서는 수학과 실험 모두를 대학 내의 자연철학적 담론 내에 묶어 둘 필요가 있었을 것이다. 더욱이 밀너에게 뉴턴의 자연철학은 “유물론과 무신론에 맞서는 해독제” 이자, 영국 사회의 도덕적, 종교적 틀을 유지시키는 철학적 기반이기도 했다.⁵⁵⁾

밀너에 따르면 탄성체에서는 모멘텀을 총합한 값뿐만 아니라 ‘살아 있는 힘’ 을 총합한 양 역시 보존됐다. 사람들이 뉴턴의 운동 제3법칙을 전자의 의미가 아니라, ‘살아 있는 힘’ 이 충돌하는 물체들 사이에서 같은 양만큼 교환된다는 후자의 의미로 착각하게 된 이유가 바로 여기에 있었던 것이다. 그러나 이는 오직 탄성체의 경우에만, 그것도 우연히 성립하는 것이었다. 그러므로 탄성체의 충돌에 한정한다면 문제는 없을 수도 있었다. 그러나 이를 탄성체가 아닌 모든 물체의 운동으로까지 확장하게 되면, “실질적인 해악이 발생할 것이고, 논쟁은 더 이상 단순히 말의 문제에 머무르지 않을 것이[었]다.” 비탄성체가 가지고 있는 ‘살아 있는 힘’ 을 총합하여도 그 값이 보존되지는 않기 때문에 이를 뉴턴의 운동 제3법칙과 동일시할 경우 뉴턴의 운동 법칙 자체가 잘못되었다고 착각할 수 있었던 것이다. 이상의 주장을 수학적으로 증명한 뒤 밀너는 ‘살아 있는 힘’ 이 보존된다고 주장하는 라이프니츠주의자들을 반박할 가장

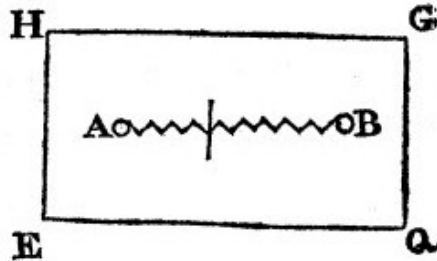
54) Ibid., p. 371.

55) Ibid., p. 349, p. 351. 밀너에 관해서는 다음을 보라. L. J. M. Coleby, “Isaac Milner and the Jacksonian Chair of Natural Philosophy,” *Annals of Science* 10 (1954), pp. 234-257; T. J. N. Hilken, *Engineering at Cambridge University, 1783-1965* (London: Cambridge University Press, 1967), pp. 33-37; Kevin C. Knox, “Isaac Milner(1750-1820),” *Oxford Dictionary of National Biography* (<http://www.oxforddnb.com>, 2008년 11월 30일). 마지막 인용문은, Kevin C. Knox, “Isaac Milner(1750-1820)” 에서 따왔다.

좋은 반례 중 하나로 맥클로린이 예로 든 용수철 사고실험을 거론했다.⁵⁶⁾

맥클로린은 우선 용수철로 연결된 동일 질량의 두 물체가 1의 속도로 움직이고 있다고 가정 한 뒤, 여기에 용수철이 서로 반대방향으로 힘을 작용하여 A와 B 모두에 1만큼의 속도변화를 가져오면 A는 최종속도가 0이 되고, B의 최종속도는 2가 될 것이라고 하면서, 만약 이렇게 되면 힘에 대한 새로운 교설(‘살아 있는 힘’이 보존된다는 교설)에 따를 때 충돌전의 힘의 합은 2인 반면, 충돌 후의 힘의 합은 4가 되어 그 총합이 보존되지 않는다고 주장하였다. 이는 용수철의 작용이 한쪽으로는 3의 힘을 증진시킨 반면, 다른 쪽의 반작용에서는 1의 힘을 뺀 것이 되어 작용과 반작용의 크기가 같다는 법칙과도 배치되었다. 밀너에 따르면 반대자들은 이처럼 명약관화한 사례에 대해서도 아무런 설명을 제시하지 못했다. 그러므로 ‘살아 있는 힘’은 탄성체의 경우에만 보존되는 특수한 것이지 모멘텀처럼 어느 경우에도 보존되는 보편적인 양이 아니었던 것이다.

마지막으로 밀너는 라이프니츠주의자들의 주장과 공명하는 듯한 스미턴의 1776년 실험결과를 직선운동과 회전운동을 구분함으로써 뉴턴역학 체계 안에서 설명해 내고 이를 뉴턴의 이론이 타당함을 입증하는 실험적 근거로



<그림 6> 용수철 사고실험. 맥클로린이 라이프니츠주의자들을 비판하기 위해 고안했다.
출처: Isaac Milner, “Reflections.”

삼았다. 그 결과 밀너는 스미턴의 정밀한 실험을 오히려 자신의 주장을 강화해 주는 결과로 제시할 수 있었고, 스미턴이 내세운 역학적 동력 역시 우연히 성립한 하나의 특수한 사례로 가치 절하할 수 있었다. “[충돌에 대한 정확한] 지식에 도달할 수 있는 유일한 방법은 누구도 부정하지 않는 저 원리들을 단지 몇몇 특정한 상황에서만 발견할 수 있는 다른 원리들과 언제나 분리하는 것” 뿐이었다. 밀너에게 보편적인 원리는 뉴턴의 법칙이었지 실용역학에 뿌리를 둔 동력 개념이 아니었으며, 더욱이 그러한 법칙과 원리는 개별 실험에 대한 부주의한 해석에 의해 부정될 수 없었다. “풍차와 수차의 효과를 결정하기 위해 고안된 실험들이 수학자들의 계산과 일치하지 않는다는 사실이 널리 인정되고 있으나 그것이 우리가 견지하고 있는 원리들에 대한 반박이 될 수는 없[었]다.”⁵⁷⁾ 이처럼 밀너가 스미턴과 같은 이들의 도전에 맞선 한 가지 방법은

56) Isaac Milner, “Reflections,” p. 356.

57) Ibid., pp. 360-364, esp. p. 364, p. 371, pp. 373-378. 스미턴을 비판한 몇몇 자연철학자들이 스미턴의 역학 개념을 단순한 동어반복에 불과하다고 주장한 것 역시 이러한 맥락에서 이해할 수 있다. Simon Schaffer, “Machine Philosophy,” pp. 177-178.

이론 혹은 원리를 실험과 조심스럽게 분리하는 것이었다.

한편, 밀너는 같은 논문에서 눈이나 흙처럼 부드러운 물체에 작용하는 충격의 특성을 밝히려는 시도들은, 입자들의 운동방향과 속도 등을 사실상 알 도리가 없기 때문에 작용과 반작용에 관한 지금의 논의와는 직접적인 관계가 없다고 주장했다.

눈이나 흙과 같은 부드러운 물체에 미치는 [충격의] 효과를 측정하기 위해 통상 운위되는 모든 실험들은 기실 [이론적] 목적에는 결코 적절하지 않다. ... 입자들이 뒤로 밀리는 방향, 입자들이 획득하는 속도, 그들이 서로에게 미치는 상호 작용, 나아가 이러한 효과가 작용하는 시간에 이르기까지, 모든 것이 계산 가능한 영역을 넘어서 있다.

세퍼가 같은 곳에서 정리한 바에 따르면, 스미턴을 비판한 자연철학자들에게도 ‘마찰’이라는 대항 개념이 존재했다. 스미턴을 비판한 애트우드(George Atwood, 1745-1807)와 파킨슨(Thomas Parkinson, 1745-1830)에 의하면 실제 모형에서는 이론과 달리 마찰이 존재하므로 실험결과를 해석할 때 주의를 기울여야 하는데, 스미턴은 그러한 차이를 고려하지 못한 탓에 오류를 범하고 말았던 것이다. 주목할 만한 사실은 18세기 후반에 이르러 스미턴과 같은 이들이 철학적 원리를 바로 세움으로써 이론과 실제의 호혜적 관계를 회복할 수 있다고 주장한 데 반해, 케임브리지 자연철학자들은 마찰처럼 엔지니어링 전통에 속하는 개념들을 통해 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링을 조심스럽게 분리하려 했다는 점이다.

밀너의 언급은 여기서 머무르지 않았다. 그는 ‘실제에 밝은 장인들’의 담론을 대학 내 자연철학 담론과 분명히 구별하려 했다.

실로 실제에 밝은 장인들은 충돌에 의해 운동이 갑작스럽게 전달되는 현상과는 아무런 관련이 없는 일에 종사하고 있다. 물체들의 [갑작스런] 충돌은 너무나 무질서하고 순간적인 작용들이라 유용한 기계를 제작할 때에는 별로 고려할 필요가 없는데, 그러한 기계는 무게나 압력이 점진적으로 효과를 발휘함으로써 그 내부의 운동이 보존되는 방식으로 작동하기 때문이다. 그러므로 상술한 효과들에 대한 정확한 지식은 [실제에 밝은 장인들보다는] [왕립]학회의 관심사에 더 부합한다 하겠다.⁵⁸⁾

요컨대 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링의 관계를 재구축하려는 스미턴에 시도에 맞서 밀너와 같은 케임브리지 자연철학자들은 이론을 실제 혹은 실험에서 조심스럽게 분리하고 자연철학의 영역과 엔지니어링의 영역을 구별하는 전략을 취하고 있었다. 그러므로 논쟁은 이론 대 실험, 자연철학 대 엔지니어링의 구도로 명확히 분리될 수 없었다. 전선은 둘의 관계를 어떻게 설정할 것인가를 둘러싸고 형성돼 있었다.

밀너의 언급은 맥클로린이 제안한 용수철 사고실험과 더불어 스미턴의 또 다른 대응을 자극한 듯하다. 스미턴은 1759년 논문에서 하사식이 상사식에 비해 낮은 효율을 보이는 이유를 고찰하면서 이미 물과 같은 연성 비탄성 물체의 충돌에 관해 언급한 적이 있다.

“[물과 같은] 비탄성체는 충격이나 충돌을 통해 [다른 물체에] 어떤 작용을 가할 때 그들이 가진 동력의 일부만을 전달하고, 여분의 동력은 타격으로 인한 모양 변화로 소모” 되는 까닭에 하사식이 상사식에 비해 많은 손실을 가져온다는 것이었다. 그러므로 만약 상사식 수차에서도 “[물과 같은] 물체가 [그 모양을 변화시키지 않고] 천천히 내려오기만 한다면 그만큼 ... 효율이 증대될 것이” 분명했다. 밀너의 주장과 달리 충돌에 관한 올바른 자연철학적 이해는 수차와 같은 실제 기계를 개선하는 데도 큰 도움이 된다는 것이 스미턴의 생각이었던 것이다.⁵⁹⁾

밀너의 반론에 스미턴은 실제 용수철 모형으로 맞섰다. 1782년 논문에서 스미턴은 “보편적으로 인정되듯이 과학적 지식의 단순한 제일 원리들이란 아무리 비판적으로 검토해도 지나치지 않고, 인류의 활발한 사업의 많은 부분이 의존하고 있는, 역학의 실용적이고 효력이 있는 부분과 관련된 원리들이라면 더욱더 그러할 것” 이므로 자신이 논문의 특정 부분에서 다소 직접적인 비판을 가하더라도 양해해 줄 것을 부탁하며 논의를 시작했다. 다시 한 번 역학 전체를 문제 삼고 있음이 드러나는 순간이었다. 스미턴은 “두 세계로 갈라진” 철학자들이 논의해 온 충돌법칙을 크게 세 경우로

58) Isaac Milner, “Reflections,” pp. 363-364.

59) John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind,” p. 130, p. 132.

나누었다. 완전 탄성체, 완전 연성 비탄성체, 그리고 완전 강성 비탄성체가 그것이었다.

⁶⁰⁾ 논점은 두 가지였다. 첫째, 하나의 완전 연성 비탄성체가 정지한 또 다른 연성 비탄성체와 충돌할 경우 두 물체는 하나로 합쳐지고 그 속도는 운동하던 물체의 반으로 줄어드는데, 이때 나타나는 모멘텀과 ‘살아 있는 힘’의 차이가 문제였다. 완전 연성 비탄성체의 경우 모멘텀은 보존되나, ‘살아 있는 힘’의 절반은 사라지기 때문이었다. 한편 완전 강성 비탄성체에 대해서는 일군의 철학자들이 그 존재 자체를 부정하여 실험조차 불가능하다고 주장한 반면, 어떤 철학자들은 이론적으로는 논의가 가능하며 그 결론에 따르면 ‘살아 있는 힘’이 보존된다는 관념은 오류일 수밖에 없다고 주장하고 있는 상황이었다. 우선 스미턴은 완전 강성 비탄성체를 둘러싼 논쟁을 검토하면서 대립하고 있는 철학자들 모두가 “실험적으로도 어떠한 정당한 연역을 통해서도” 증명되지 않은 가정만을 되풀이하고 있다고 비판하고, 충돌 전후의 중력 중심 속도가 달라진다는 이론적 논의를 통해 완전 강성 비탄성체의 존재를 기각했다. 이 역시 당대의 뉴턴주의 자연철학자들과 대립하는 주장이었으나, 스미턴의 출발점은 뉴턴주의와 라이프니츠주의 양자 모두에 비판적이었다. 그가 보기에 양측 모두 확고한 실험적, 이론적 토대 위에서 자신들의 입론을 펼친 것은 아니었기 때문이다.⁶¹⁾

완전 연성 비탄성체에 대한 스미턴의 접근은 더 본격적이었다. 완전 연성 비탄성체의 충돌문제는 그에게 중요할 수밖에 없었다. 스미턴은 완전 강성 비탄성체의 존재를 부정하였으나, 비탄성체 전체를 동등하게 취급해서는 안 된다고 생각했다. 무엇보다 물이 비탄성체 중 하나인 연성 비탄성체에 속했기 때문이다. 그에게 물질의 본성과 ‘살아 있는 힘’을 둘러싼 논쟁은, 하사식 수차가 낮은 효율을 보이는 현상을 설명하기 위해 역학적 동력의 일부가 물의 모양변화로 인해 소모된다고 주장한 것과도 연결돼 있었던 것이다.⁶²⁾ 스미턴은, 연성 비탄성체와 강성 비탄성체를 구분하지 못할 경우 초래될 실질적인 악영향에 관해 다음처럼 분명하게 자신의 입장을 피력했다.

두 종류[의 비탄성체] 사이에 동등한 효과를 가정함으로써 철학자들은 스스로 오류에 빠질 것이고, 그 결과 실무에 종사하는 사람들이 큰 관심을 가지고 있고 일상적인 업무와도 큰 관련이 있는 종류[의 비탄성체], 다시 말해 물과 같은 연성 비탄성체에 관한 추론과

60) 스미턴의 구분을 오늘날의 관점에서 이해하면, 우선 ‘완전 탄성체’는 충돌 전후의 상대속도가 보존되는 물체들로 역학적 에너지와 운동량이 모두 보존되는 물체들을 지칭한다. 한편 ‘완전 연성 비탄성체’는 충돌 과정에서 변형의 과정을 거친 뒤 결국 하나로 합쳐지는 물체들을 가리키는데, 이 경우 운동량은 보존되나 역학적 에너지는 줄어들게 된다. 마지막으로 ‘완전 강성 비탄성체’는 충돌 시 물체의 변형이 일어나지 않고 충돌 후에 물체가 하나로 합쳐지지도 않는 물체들을 지칭하는데, 바로 이러한 물질의 성격이 논쟁의 대상이 되고 있었다.

61) John Smeaton, “Collision of Bodies,” pp. 337-338.

62) John Smeaton, “Natural Powers of Water and Wind,” p. 130.

결론에서도 사람들을 오도할 것이다.⁶³⁾

그렇다면 대안은 무엇일까? 실무에 종사하는 기술자들을 그릇된 길로 이끌지 않으려면 어떻게 해야 할까? 스미턴의 답은 역학적 동력처럼 그 효과를 확실하게 측정할 수 있는 양을 바탕으로 고안된 새로운 기계장치를 이용해 실험적으로 접근해야 한다는 것이었다. 그는 새로운 기계장치를 통해 물을 포함하는 연성 비탄성체를 실험적으로 다룰 수 있음을, 그리고 그 결과를 이론과 타당한 방식으로 연결할 수 있음을 보여야 했고, 그로써 밀너의 주장을 반박해야 했다. 스미턴의 기계장치는 실로 그와 같은 스미턴의 의도를 체현하고 있었다. 스미턴은 물체가 충돌할 지점에 톱니바퀴로 되튀김을 조절할 수 있는 용수철을 설치했다. 용수철을 자유롭게 열어둔 것은 탄성체의 충돌을 모형화한 것이었고, 이것을 톱니바퀴를 걸어 충돌 후 다시 튀어나오지 못하게 막아둔 것은 완전 연성 비탄성체의 충돌을 모형화한 것이었다. 특히 후자와 관련하여 스미턴은, 충돌 시 톱니바퀴에 의해 압축된 용수철을 다시 개방한다면 마주한 두 물체는 반대로 튕겨나가게 될 것이고, 이때 두 물체가 튕겨 올라간 높이를 이용하여 그 역학적 동력을 계산하면 물체의 모양을 변형시키는 데 사용된 역학적 동력을 추정할 수 있다고 주장했다.⁶⁴⁾

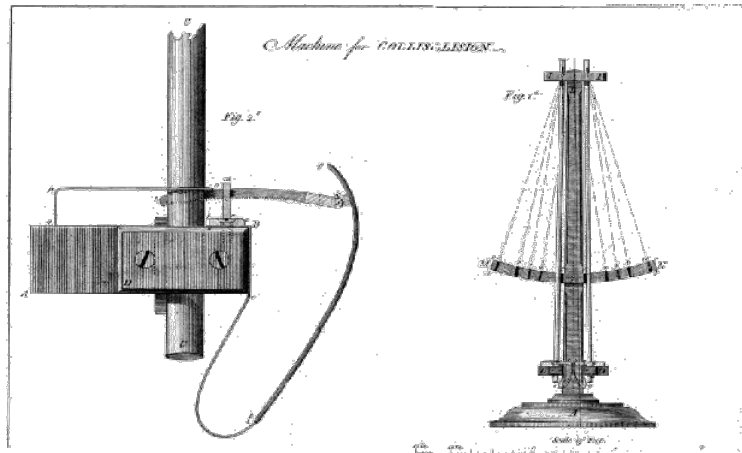
그 결과 여기서도 맥클로린의 사고실험과 다른 결론이 도출되었다. 문제는 용수철의 변형에, 즉 물체의 모양을 변화시키는 데 역학적 동력의 일부가 쓰인다는 데 있었다. 이로써 스미턴은 약간의 오차가 있기는 하나 “연성 비탄성체의 충돌에서 타격하는 물체가 지니고 있는 역학적 동력의 절반은 타격 과정에서 손실된다” 고 주장할 수 있었다.⁶⁵⁾ 그가 보기에 “[모멘텀과 ‘살아 있는 힘’]을 역학적 동력이라는 공통의 잣대만큼이나 간명하고 분명하며 근본적인 방식으로 비교할 수 있게 해 줄 방법이란 존재하지 않을 것이[었]다.”⁶⁶⁾ 요컨대 역학적 동력처럼 그 효과를 명확히 측정할 수 있는 값을 통해서야 ‘동체에 관한 전 학설을 반석 위에 올[릴 수] 있다’ 는 것, 다시 말해 밀너가 분리하려한 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링의 관계를 올바로 재정립할 수 있다는 것이 스미턴의 주장이었다.

63) John Smeaton, “Collision of Bodies,” p. 340.

64) Ibid., pp. 347-350.

65) Ibid., pp. 345-347, p. 352.

66) John Smeaton, “Quantity and Proportion of Mechanic Power,” p. 473.



<그림 7> 스미턴이 충돌실험을 위해 새로 고안한 기계장치.

출처: John Smeaton, "Collision of Bodies."

VI. 다시 그어진 경계

18세기 뉴턴주의의 역사는 결코 단일하지 않았다. 뉴턴의 이름은 많은 이들이 자신들의 지적, 사회적 권위를 주장하기 위해 원용할 수 있는 고전적 자원이 되어 있었으나, 이는 점차 그들 사이의 내적 갈등의 원인이 되기도 했고, 지금까지 살펴 본 것처럼 수차와 같은 실제 엔진에 관한 분석을 두고도 영국 뉴턴주의자들의 입장이 결코 한결 같지는 않았다.⁶⁷⁾ 스미턴이 수차 연구를 시작할 18세기 중엽을 살펴보면, 수학적 연역에 방점을 찍은 맥클로린이 라이프니츠주의의 ‘살아 있는 힘’을 이론적으로 거부하고 뉴턴의 모멘텀 개념을 엄격히 고수한데 비해, 실험적 접근으로 기운 데자글리에는 뉴턴주의에서 라이프니츠주의로 생각을 바꾼 그라베상드 등의 실험적 반론에 일리가 있음을 수증하고 두 전통의 양립가능성을 타진하는 방향으로 나아갔다.

67) 뉴턴주의가 다양한 방식으로 활용된 방식을 소략하나 통찰력 있게 정리한 연구로는, Simon Schaffer, "Newtonianism," R. C. Olby and etc., eds., *Companion to the History of Modern Science* (London & New York: Routledge, 1990), pp. 610-616이 있다. 뉴턴 자연철학 내의 긴장에 관해서는, Rob Iliffe, "Abstract Considerations: Disciplines and the Incoherence of Newton's Natural Philosophy," *Studies in History and Philosophy of Science* 35 (2004), pp. 427-454; Peter R. Anstey, "Experimental versus Speculative Natural Philosophy," P. R. Anstey and J. A. Schuster, eds., *The Science of Nature in the Seventeenth Century* (Dordrecht: Springer, 2005), pp. 215-242를 보라.

그러나 이들 누구도 뉴턴철학의 진리성을 의심하지는 않았으며, 나아가 뉴턴철학의 실용성을 역설하고 이를 실제 수차 연구를 통해 입증하려 했다. 스미턴이 수차연구로 뛰어든 시기가 바로 이 즈음이었다.

기실 자연철학이 실용적이라는 주장은 그 자체로 새로운 주장은 아니었다. 일찍이 왕립학회의 정신적 토대를 놓은 베이컨은, 이론은 실제에 바탕을 두어야 하고 그렇게 만들어진 이론은 더욱 놀라운 실제적 효과를 거둘 수 있게 한다는, 그 결과 중국에 이론과 실재는 동전의 양면처럼 분리되지 않는다고 주장하며 이론과 실재의 구별을 타파한 바 있다.⁶⁸⁾ 이러한 주장은 18세기 초엽 다양한 뉴턴주의자들, 특히 대중강연과 공개실연을 통해 자연철학의 실용성을 전파하던 자연철학자들, 강연가들, 저술가들에 의해 반복됐고 그 영향력 역시 상당했다. 이론은 실재를, 자연철학은 엔지니어링을 이끌 수 있고 또한 이끌어야 한다는 것이 이들의 주장이었으며, 실로 데자글리에에는 18세기 전반 이런 흐름을 이끈 대표적 인물이었다. 그는 자신의 말이 현란한 수사만은 아니라는 것을 실제 엔지니어링 작업을 통해 보여주기도 했다.

스미턴 역시 실제 엔지니어링 작업에서 이론과 자연철학이 큰 역할을 할 수 있다고 생각했고, 그런 점에서 그의 활동과 정신은 자연철학자에 맞선 엔지니어의 것이었다기보다는 자연철학과 엔지니어링의 융합을 꾀하던 베이컨 이래 18세기 영국의 고유한 문화적 에토스를 반영한 것이었다. 그런 점에서 한 세대 가량 시간이 흐른 뒤이기는 하나 유명한 철도 엔지니어이자 기계공학 엔지니어였던 스티븐슨(George Stephenson, 1781~1848)의 다음과 같은 언급은 스미턴의 맥락을 정확히 짚고 있는 면이 있었다.

스미턴은 우리 분야에서 이 나라가 지금까지 배출한 가장 위대한 철학자입니다. 멈추지 않는 실험가였다는 점에서 그는 진정한 베이컨주의적 정신을 가진 위대한 인간이었지요. 그의 저작에서만큼 역학의 원리들이 명확하게 드러난 사례는 결코 없었으며, 저항, 중력, 그리고 제분기를 돌리는 수력과 풍력에 관해서라면 더더욱 말할 필요가 없을 정도입니다.⁶⁹⁾

이렇게 보았을 때 스미턴과 밀너의 논쟁은 이례적으로 뛰어난 재능을 가지고 있던 자수성가한 특별한 엔지니어가 단순히 자연철학자들의 권위를 부정한 사례라기보다는 멀리는 베이컨 이래 그 세를 넓혀 오던, 가깝게는 데자글리에와 같은 18세기 뉴턴주의자들이 앞장서서 설파해 오던 새로운 자연철학의 이념이 심화됨으로써 두 전통의 관계가 이전과는 다른 국면으로 접어들고 있음을 인상적으로 보여준 사례였다.

68) Paolo Rossi, "Truth and Utility in the Science of Francis Bacon," idem, *Philosophy, Technology, and the Arts in the Early Modern Era*, tran. by Salvator Attanasio (New York: Harper Torchbooks, 1970), 146~173.

69) Samuel Smiles, "Life of John Smeaton," p. 86.

그런 점에서 밀너가 이론과 실제, 자연철학의 원리와 실험을 조심스럽게 분리하려 한 모습은, 베이컨적 이상을 좇아 그 둘을 연결하면서 자연철학이 실제 작업에 도움을 줄 수 있고 나아가 그것을 통제할 수 있다던 이전 세대의 자연철학자들의 주장을 곧이곧대로 반복할 수는 없는 당대 자연철학자들의 역설적 상황을 여실히 드러내주고 있었다. 요컨대 밀너를 비롯한 당대 자연철학자들이 구사한 전략은 이전 세대를 통해 상호 영향을 주고받으며 진화해 온 18세기 자연철학과 엔지니어링의 관계가 새로운 세대에게 부과한 역사의 무게를 반영하고 있었던 것이다.

일찍이 베이컨은 실제적, 기술적 지식을 비의적인 마술적 전통에서 분리하고 새로운 철학이 실제적, 기술적 지식의 공개성, 객관성, 협동성을 본받아 인류의 복지에 이바지해야 한다고 역설한 바 있다. 이와 같은 베이컨의 이상에서는 사익을 위해 비밀주의를 추구하는 장인과 기술자들의 행태가 비판받을 수밖에 없었다.⁷⁰⁾ 베이컨의 이상은 18세기로 넘어와 뉴턴주의자들에 의해 강화되고 변주됐다. 데자글리에 역시 사익에 눈이 멀어 자연의 한계를 뛰어넘는 기계를 발명했다고 “떠벌리고 다니는 엔지니어(engineer)” 들을 비판하며 자연철학을 그 안전판으로 내세운 바 있다. 자연철학은 자연의 한계 내에서 자연이 제공하는 힘을 효율적이고 효과적으로 사용하는 방법을 가르쳐 준다는 것이었다. 나아가 데자글리에에는 이러한 작업을 훌륭히 해낼 수 있는 엔지니어들을 특히 “좋은 엔지니어(good engineer)” 라 칭하고, 이들이 갖추어야 할 요건으로 “수학에 능해 역학적 원리를 이해할 수 있을 것, 철학자처럼 유체정역학과 기체역학에 익숙할 것, 현업에서 일하는 훌륭한 기계공처럼 물성을 잘 알 것, 그리고 이러한 지식을 최적의 방식으로 결합할 줄 알 것” 등을 꼽았다. 그러나 데자글리에에 따르면, “오늘날 [영국에] ‘엔지니어(engineer)’ 들이 넘쳐난다고는 해도 적절한 과학 교육을 받은 ‘엔지니어(ingenieur)’ 는 부족했다.” 데자글리에와 같은 이들이 자신들의 강의와 저술을 통해 주먹구구식의 엔지니어링을 이론적 토대를 갖춘 작업으로 전환시키는 것을 목표로 삼은 배경에는 이와 같은 인식이 놓여 있었다.⁷¹⁾

70) Paolo Rossi, *Francis Bacon: From Magic to Science*, tran. by S. Rabinovitch (Chicago: University of Chicago Press, 1968); William Eamon, “From the Secrets of Nature to the Public Knowledge,” David Lindberg and Robert Westman, eds., *Reappraisals of the Scientific Revolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), pp. 1-26.

71) 인용은 순서대로, J. T. Desaguliers, *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, p. viii; Vol. I, p. 71; Vol. II, pp. 414-415. 데자글리에에는 적절한 과학교육을 받은 엔지니어를 특칭하기 위해 프랑스어 ‘ingenieur’ 를 사용했다. 여기서도 이러한 차이를 드러내기 위해 프랑스어를 그대로 음역했다. 포니에 따르면 데자글리에에는 프랑스 엔지니어들이 영국의 엔지니어들보다 앞선 이론적 지식을 갖추고 있음을 드러내기 위해 이러한 전략을 사용했다. Carlo Poni, “The Craftsman and the Good Engineer:

스미턴 당대의 상황은 이러한 작업이 상당히 성공적이었음을 보여 줌과 동시에 더 이상 데자글리에식의 비판이 힘을 발휘하기 힘든 상황이 되었음을 드러내 주거니와, 스미턴의 수차연구와 그것을 둘러싼 논쟁은 그러한 흐름의 한 정점이었다. 더욱이 그러한 흐름이 스미턴 개인에게만 국한된 것도 아니었다. 1771년 스미턴을 주축으로 민간 엔지니어 협회가 구성되었던 것이다. 협회가 설립될 때 스미턴은 엔지니어들이 “실용적 화학, 역학, [그리고] 자연철학에 뛰어난 지식” 을 갖추 것을 주문했다.

“[스미턴]의 모범과 가르침이 자신들 모두를 엔지니어로 만들었다” 고 언급한 바 있는 제임스 와트가 증기기관 엔지니어가 알아야 할 지식으로 꼽은 것 역시 크게 다르지 않았다. 와트의 항목에는 “과학적 역학의 법칙들, 수력학과 유체정역학의 법칙들” , 그리고 “열기와 냉기에 관한 교설” 들이 필수 지식으로 꼽혔으며, 이는 데자글리에가 ‘좋은 엔지니어’ 의 요건으로 꼽은 목록과도 거의 일치했다. 엔지니어들 스스로가 새로운 시대에 적합한 자신들의 정체성을 자각적으로 구축해 나가고 있었던 것이다.⁷²⁾

이런 상황에서 밀너와 같은 이들이 데자글리에의 엔지니어 비판을 반복할 수는 없었다. 데자글리에가 자연철학과 이론을 내세워 어림짐작으로 이뤄지던 실제의 엔지니어링을 공세적으로 비판할 수 있었던 반면, 밀너로서는 자연철학과 이론을 그들의 나름의 방식으로 엔지니어링과 접목하려는 새로운 세대의 엔지니어들의 시도에 조심스럽게 제동을 걸 수밖에 없었고, 그로 인해 그들의 태도는 수세적인 면모를 띠고 있었다. 밀너가 실제의 복잡한 작용과 이론적으로 추상화된 상황을 구별한 것, 나아가 이론가들이 고려해야 하는 순간적인 충돌과 엔지니어들이 관심을 갖는 연속적으로 작용하는 힘을 나눈 것 모두가 이들이 새로운 국면을 맞고 있음을 드러내는 징후였던 것이다. 밀너나 애트우드도 수학적 연역과 실험 중 어느 쪽에도 온전히 의지하지 못하고 해석과 적용의 문제를 제기하며 둘 사이를 조심스럽게 오가야 했던 것 역시 경험과 실험을 통해 이론을 ‘연역’ 하던 스미턴과 같은 이들에 대한 새로운 세대의 자연철학자들의 부심을 보여 주고 있었다.⁷³⁾

Technical Practice and Theoretical Mechanics in J. T. Desaguliers,” *History and Technology* 10 (1993), pp. 215-232.

72) 인용은 순서대로 John Smeaton, *Reports of the Late John Smeaton, F.R.S.* (London: M. Taylor, 1837), 1: x-xi; A. E. Musson and E. Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, pp. 204-205(재인용). 초기 민간 엔지니어 협회에 관해서는 A. W. Skempton, “Early Members of the Smeatonian Society of Civil Engineers,” *Transactions of the Newcomen Society* 44 (1971~1972), pp. 23~42; Garth Watson, *The Smeatonians: The Society of Civil Engineers* (London: Thomas Telford, 1989), pp. 3~36; John Rae and Rudi Volti, “The Emergence of the Civil Engineer,” *The Engineer in History*, Rev. ed. (New York: Peter Lang, 2001), pp. 75~94를 보라.

73) Isaac Milner, “Reflections,” p. 349; George Atwood, *A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies with a Description of Original*

밀너와 같이 케임브리지에 소속돼 있던 애트우드는 스미턴이 실험에서 도출한 이론적 결론을 경험적 “추론(inference)” 이라 칭하며 자연철학적 원리에서 유도한 이론과의 구별을 더욱 분명히 했다. 애트우드에 따르면 스미턴은 마찰이나 실제 기계의 변칙적 작용에 기인한 실험적 오류를 곧바로 이론적 결함으로 연결하는 잘못을 범했다. 경험과 실험에서 이끌어 낸 이론적 추론은 원리적인 이론과 구별해야 하며 둘의 관계는 실제의 복잡한 상황을 고려하여 조심스럽게 해석돼야 한다는 것이었다. 스미턴과는 무관하나, 몇 년 뒤 배의 안정성을 이론적으로 논하는 논문에서 애트우드는 이와 유사하게 ‘이론’의 의미를 두 가지로 구별했다. 아카데미의 이론가들이 알고 있는 “순수한 역학 법칙”이 그 한 가지라면, 현업에 종사하는 “개인들이 경험과 관찰을 통해서 만들어 내는 체계적인 규칙”이 또 다른 의미였다. 후자의 지식이 유용하기는 하나, 또한 이론가들이 법칙에서 경험적 규칙을 설명하는 데 어려움을 겪을 수는 있으나, 이러한 사실이 이론가들의 법칙과 장인 혹은 기술자들의 경험적 규칙의 위계를 뒤집을 수는 없었다.⁷⁴⁾ 나아가 애트우드는 자연철학과 엔지니어링의 역사적 경계 역시 다시 그으려 하고 있었다.

운동이론의 원리가 아무리 논쟁의 여지없이 확실하다 해도 그러한 이론이 현업의 기계공학들에게 큰 도움이 될 성싶지는 않다. 나아가 이론적 관점에서 고려된 힘의 효과에 관해 어떤 오류나 오해가 퍼져 있다 하더라도 그것이 유용한 기계를 적절히 조립하는 데 장애가 될 것 같지도 않다. ... 그러한 기계는 수 세대에 걸쳐 반복된 시도와 오류, 그에 관한 고찰과 수정 등의 오랜 경험을 통해 만들어지고 개선된다.⁷⁵⁾

18세기 초엽, 자연철학의 실용성과 효용을 주창하며 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링 사이의 문을 활짝 열었던 자연철학자들이 이제 스미턴과 같은 새로운 민간 엔지니어들이 그들 나름의 방식으로 이론과 실제, 자연철학과 엔지니어링을 연결하며 자신들의 담론 영역을 침해한다고 느끼게 되자 두 전통의 경계선을 다시 그으며 그 문을 닫으려 하고 있었던 것이다. 그리고 그 유산은 다음 세대의 자연철학자들과

Experiments Relative to the Subject (London, 1784), pp. 357-358.

74) Ibid., pp. 381-382, p. 392; idem, “Construction and Demonstration of Geometrical Propositions Determining the Positions Assumed by Homogeneous Bodies Which Float Freely and at Rest on a Fluid’s Surface, Also Determining the Stability of Ships and Other Floating Bodies,” *PTRS* 86 (1796), pp. 46-130, esp. pp. 125-129. 애트우드를 비롯한 아카데미 학자들과 엔지니어링 전통의 조선기사들 사이의 논쟁에 관해서는, Simon Schaffer, “Fish and Ships: Models in the Age of Reason,” Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, eds., *Models: the Third Dimension of Science* (California: Stanford University Press, 2004), pp. 71-105를 보라.

75) George Atwood, *Rectilinear Motion and Rotation of Bodies*, pp. 380-381.

엔지니어들이 짊어져야 할 또 다른 역사적 무게가 될 것이었다.⁷⁶⁾

76) 본 논문에서 스미턴 당대의 유산의 내용과 그 귀결을 모두 다룰 수는 없지만, 지금까지의 분석에서 드러났듯 자연철학과 엔지니어링의 경계가 훨씬 섬세하게 그려지기 시작했다는 점은 지적할 수 있겠다. 자연철학적 이론과 엔지니어링 이론의 구별, 자연철학적 추상화와 엔지니어링 모형화의 차이 등이 그 경계를 가르는 술어로 부상하기 시작한 것이다. 그런 의미에서 스미턴 당대의 상황은 이후 ‘과학적’ 엔지니어링으로 이어질 역사의 서막을 올리고 있었다고 할 수 있다.

<ABSTRACT>

“Establish[ing] the Whole Doctrine of Moving
Bodies upon One Plain Consistent Basis” :

John Smeaton’ s Waterwheel, Multifaceted Interactions
between Natural Philosophy and Engineering, and the
Emergence of the ‘Civil’ Engineer in Eighteenth-Century
Britain

Seo, Minwoo

Program in History and Philosophy of Science

Seoul National University

This paper aims to explore the concrete and consistent program and endeavors of John Smeaton(1724-1792), a very well-known 18th-century British ‘civil’ engineer, to establish a proper relationship between theoretical natural philosophy and practical engineering, by closely examining his research on waterwheels, especially his construction of a waterwheel model and other related machines. In doing so, it will present a more nuanced (and ironical in a sense) picture of the historical evolution of multifaceted interactions between natural philosophy and engineering through the 18th-century in Britain.

Some historians focus on the microscopic-level interplay of science and technology, embodied in Smeaton’ s waterwheel research, with an aim to explicate their conceptual and methodological differences. On the contrary, other historians deliberately attempt to show Smeaton’ s ardent interests in scientific problems in order to highlight the ethos of him and his contemporaries that reinforced the interdependence of science and technology at the macroscopic level. In contrast, this paper argues that if we combine the

microscopic and macroscopic approaches to Smeaton in the context of the long and converging relationship between natural philosophy and engineering, we can reach a new understanding of the historical emergence of the ‘civil’ engineer in 18th-century Britain, as well as Smeaton’ s own natural philosophical and engineering practices.

Key Words: John Smeaton, waterwheel, Newtonianism, mechanics,
natural philosophy (science) and engineering(technology),
theory and practice, vis viva, ‘civil’ engineer