

과학자의 창의적 문제해결을 통한 발명교육의 시사점 탐색: 로버트 후크를 중심으로

조한국*

단국대학교

Implications for invention education through the analysis of creative problem solving by Robert Hooke

Hunkoog Jho*

Dankook University

Abstract : This study aimed to investigate the life and works of Robert Hooke, an ingenious scientist in the era of scientific revolution, and to give some implications of invention education for science education. The publications and critics of Robert Hooke were analyzed to find out the personal setbacks how he showed excellent performances across the fields of science. The research finding showed that he tried to make geometric and visualized reasoning based on the empirical phenomenon, had much interest in the devices and methods for measurement and observation in the experiment, and made technical devices by himself. The ingenuity of Robert Hooke could be revealed by the rich resources in his childhood, his talent of drawing for depiction, and his colleagues and teachers with favors of diverse fields of disciplines and empirical tradition. As well, it was likely that his monistic viewpoint between the reality and scientific theories, led himself to develop interesting instruments for scientific experiments. Thus, this study suggested some implications to combine invention education with science education.

keywords : Robert Hooke, creative problem solving, invention education, inventive thinking

I. 서론

4차 산업혁명을 통한 과학기술의 혁신은 사회, 경제, 문화 등 다양한 분야에서 파급효과를 가져오고 있다. 특히, 과학기술 내의 전문화된 여러 분야 외에도 과학기술과 인문, 사회, 예술 등 전통적으로 구별되던 학문 간의 통합이 촉진되고, 인간과 기계,

생물과 무생물, 현실과 비현실의 경계가 모호해지면서 이전보다 문제해결과 창의성, 융합을 통한 새로운 산출물을 창조할 수 있는 능력이 강조되고 있다(Jho, 2017; Lee *et al.*, 2017). 이에 오늘날 대부분의 국가 교육과정에서 창의성과 융합적 사고 등이 주요 목표로 제시되고 있다. 미국의 경우, 차세대 과학표준(Next Generation Science Standards)에서 과학과 기술, 공학의 통합을 강조

*교신저자: 조한국 (hjho80@dankook.ac.kr)

**이 성과는 2017년 대한민국 특허청의 재원으로 한국발명진흥회의 지원을 받아 수행된 연구임.

***2017년 10월 17일 접수, 2017년 12월 13일 수정원고 접수, 2017년 12월 20일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2017.41.3.405>

하고 있으며(NRC, 2012), 영국의 경우 직업교육의 강화와 교육에서의 자율성을 높이며(DfE, 2014), 싱가포르에서는 3가지 핵심역량 중 발명적 사고를 강조하며(Ministry of Education, 2013), 호주와 뉴질랜드에서는 미래사회에 필요한 핵심역량을 중요하게 다루고 있다(CSCNEPA, 2007; New Zealand Ministry of Education, 2007). 우리나라에서도 2009 개정 교육과정에서 실생활의 문제 해결과 탐구 능력을 강조함에 따라 융합인재교육(STEAM)을 추구하며, 2015 개정 교육과정에서는 이를 바탕으로 과학교육에서 달성해야 할 5대 핵심역량을 강조하고 있다(MEST, 2011; MOE, 2015; New Zealand Ministry of Education, 2007). 즉, 미래사회의 핵심 역량으로 창의성과 융합적 사고를 통한 아이디어나 산출물을 생산하는 능력이 매우 강조되고 있음을 알 수 있다.

과학 개념 이해와 방법적 측면뿐만 아니라 과학의 본성의 측면에서도 과학기술 및 발명은 매우 밀접하게 연관되어 있다. 오늘날 가장 널리 통용되는 Lederman *et al.* (2002)의 7가지 과학의 본성 중 하나가 과학과 기술의 상호보완적 관계이다. 새로운 과학적 원리나 법칙, 이론의 창안은 기술의 혁신을 가져오며, 기술의 혁신이 새로운 과학적 발견을 이끌어 내기도 한다. 또한 과학에서의 상상력과 창의성은 실험이나 측정 등 경험적 방법에 의해 이뤄지기도 하지만, 창의적 사고가 새로운 이론을 창안하기도 한다. 예를 들면 Maxwell이 소용돌이 에테르 모형을 통해 전기와 자기를 통합하거나, Rutherford가 원자와 태양계의 유비를 통해 특정 궤도를 따라 도는 전자의 모습을 주장한 것들이 그 예에 해당한다(Baigrie, 2006; Harman, 1982; Navarro, 2012). 한편 산업혁명처럼 과학기술의 발전이 사회문화에 영향을 미치기도 한다.

그럼에도 불구하고 과학교육에서는 아직 기술과 공학에 대한 접목과 발명에 관한 관심이 높지 않고, 발명교육이 주로 기술과 실과 교과를 중심으로 이뤄지고 있다(Choi *et al.*, 2013; Jung, 2015; Lee & Kim, 2017). 과학교사들의 경우, 과학과 발명의 관련성은 동의하지만, 정규 교육과정에 발명을 포함하는 것은 부정적 입장을 취하고 있으며

(Lee *et al.*, 2017), 기술교사에 비해 발명교육에 대해 덜 긍정적이다(Cho & Choi, 2009). 또한 교사들은 실제 발명적 사고와 활동을 위한 구체적인 교수법과 발명 및 특허 취득에 관한 전문적 지식이나 전략에 대해 교육이 필요하다고 응답하고 있다(Kim & Jo, 2012; Lee *et al.*, 2017). 기술 교과에서는 2009 개정 교육과정 이후, 기술과 발명 단원이 명시적으로 포함되어 있으며 2015 개정 교육과정에서는 고등학교에서 지식재산일반 교과목이 선택 교과로 도입되어 매우 밀접하게 연결되어 있다. 이에 반해 과학교육에서는 발명과 관련된 내용이 명시적으로 제시되어 있지 않으며, 과학교사들의 발명에 대한 인식이 구체적인 산출물의 제작 또는 이에 대한 실천적 과정으로 국한되고 있다(Kim, 2016; Lee *et al.*, 2016). 그러나 발명교육은 특허를 출원하거나 구체적인 산출물을 제작하는 것에 그치지 않으며, 발명을 위한 사고와 전문 지식 등의 인지적 활동, 실행과 창작 등의 실천적 활동 및 결과물, 발명을 위한 다양한 기법과 환경 등의 자원, 발명적 사고 등 종합적인 지적, 실천적 활동을 의미한다(Lee, 2015; Seo *et al.*, 2006). 또한 발명교육의 개념과 역사, 발명교육 프로그램 개발, 발명교수학습, 발명학습평가, 발명교육 시설 및 환경, 발명활동 지도, 발명교사 전문성 개발 등 특허 출원과 산출물 제작 외에도 문제나 상황 인식, 탐구 등 과학교육과 밀접하게 관련된 다양한 내용들이 포함된다(Choi *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014).

역사적 관점에서 비추어 보아도 과학에서의 위대한 발견 및 업적은 발명과 매우 밀접하게 연결되어 있다. 과학적 발견 및 업적의 비약적 도약이 이뤄진 17세기 과학혁명 시기를 살펴보면 많은 과학자들이 실험과 관찰, 탐구를 위해 새로운 도구들을 창안하고 적용하였다(Jho, 2014a; Kim *et al.*, 2013). 예를 들면, Galileo는 망원경을 통해 이오, 가니메데, 유로파, 칼리스트 4개의 천체가 목성 주위를 자전하는 것을 관찰함으로써 지구중심설의 문제점을 지적하였으며, 달의 표면을 관찰하여 표면에 나타나는 음영을 지구의 상황에 유추함으로써 달도 지구와 마찬가지로 산맥이나 계곡이 있다고 생각하였다(Heilbron, 2010). 그리고 Hooke는 현

미경을 제작하여 작은 곤충과 벌레, 세포들을 관찰해 상세하게 기술하였고, Boyle과 Torricelli는 유리 세공을 통해 가늘고 긴 유리관을 만들어 Boyle의 법칙과 진공의 존재 등을 밝혔다. 심지어 예술에서도 카메라 옵스큐라를 통해 선원근법의 혁신이 나타날 수 있었다. 현미경이나 망원경, 카메라의 발명은 렌즈나 거울에 관한 광학적 법칙과 이론의 정립을 통해 이뤄진 것으로서, 결국 과학의 발전이 기술의 혁신으로, 다시 과학의 발전으로의 선순환이 일어남을 알 수 있다.

게다가 많은 과학자들은 새로운 실험과 탐구를 위해 도구를 제작하는 데에도 매우 관심이 많았다. da Vinci는 비행기, 헬리콥터, 잠수함 등 다양한 도구에 대한 설계도를 남길 만큼 매우 관심이 많았으며(Pedretti, 2004), Galileo와 Hooke는 직접 굴절 망원경을 제작해 천체를 관측하였고(Cooper & Hunter, 2006; Jardine, 2004), Newton, Wren, Hevelius 등의 천문학자들도 천체 관측에 필요한 천칭 망원경, 반구의 등을 직접 설계하고 고안하였다(Buchwald, 2012; Helden, 1968; Hunter & Schaffer, 1989). 또한 Boyle과 Lavoisier 역시 화학과 관련된 실험 기구들을 직접 제작하고 측정함으로써 많은 법칙들과 원리를 제안할 수 있었다(Boas, 2015; Shapin, 1998). 이는 과학에서의 실험과 탐구를 위해 발명과 관련된 능력이 매우 큰 영향을 미침을 뜻하며, 과학기술의 발전과 우수한 과학 인재 양성의 측면에서도 발명이 매우 중요함을 시사한다.

오늘날에도 과거처럼 창의적 사고를 통한 과학기술의 발전과 응용이 점점 중요해지고 있다. 이에 과학, 기술, 공학 등을 접목하는 STEM, STEAM 교육과 실험·제작을 중심으로 한 SW교육, Maker Space 등 다양한 활동들이 점차 확산되고 있다(Kang & Kim, 2017; Sim et al., 2015). 특히, 4차 산업혁명이 주목받으면서 기업가정신과 지식재산 등 과학교육과 발명교육에 대한 접목의 필요성이 점차 높아지고 있다(Lee et al., 2017; Son & Lee, 2017). 그러나 과학적 맥락에서 어떻게 과학교육과 발명교육을 접목해야 하는지, 과학적 탐구 능력의 향상을 위해 어떤 발명적 사고를 함양하고

어떠한 방법을 활용해야 할지 구체적인 내용과 과정은 정의되어 있지 않다. 기술 및 실과교육을 중심으로 발명교육이 논의되고 있지만, 대부분 1~5차시의 구체적인 교육 프로그램 개발에 그치고 있고, 과학 맥락에서 길러야 할 발명을 위한 이론적이고 체계적인 접근은 부족한 편이다. 이에 본 연구에서는 과거 창의적인 과학자의 문제해결 과정을 이해함으로써 학교 과학현장에서 어떻게 발명과 접목할 수 있는지 방법과 전략을 파악하고자 한다. 영국의 왕립협회의 초기 형성과 과학혁명과도 관련이 깊은 Robert Hooke의 사례를 분석함으로써 문제 해결 과정을 범주화하고, 이를 통해 과학에서 발명적 사고와 활동들을 접목하기 위한 시사점을 제공하고자 한다. 특히, 과학 교과서에서 설명하거나 서술하는 방식과 실험과 본 연구에서 주로 탐색하는 Hooke의 문제해결 과정을 비교해 과학교육에서 발명을 접목하기 위한 방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

본 연구는 새로운 과학기술이 획기적으로 증가한 시기인 과학혁명 시기에 활동한 과학자들을 대상으로 탐색하였다. 과학혁명(scientific revolution)이라는 용어는 Butterfield(1957)에 의해 처음 사용되었고, 과학에서의 사고체계나 가치관, 이론적 관점의 전환이 이루어지는 시기를 뜻한다(Kuhn, 2012). 본 연구에서 말하는 과학혁명은 중세 과학에서 근대 과학으로의 전환을 의미하며, 천문학, 역학, 생물학, 화학 등 다양한 분야에서의 많은 과학적 발견과 이론의 등장이란 시기를 지칭한다. 과학혁명의 시기에 대해서는 학자마다 서로 다른 정의를 보이지만 일반적으로는 지구중심설에서 태양중심설의 전환을 통해 사고 체계의 변화를 드러낸, 천문학 혁명을 기준으로 시작과 끝을 정의한다. 대체로 그 시작을 1543년 Copernicus의 <천체의 회전의 관하여>가 발간된 해로, 그 끝을 Newton의 <자연 철학의 수학적 원리>가 출간된 1687년으로 정한다.

본 연구에서는 해당 시기 중 과학혁명의 철학적 사조를 대표하고, 실험·실습이나 제작을 중심으로 한 과학자를 선정함으로써 그 사례를 분석하고자 하였다. 과학혁명의 특징으로는 실험과 관찰을 통한 경험주의, 수학을 통한 정량적 해석, 왕립협회(Royal Society)와 같은 과학자 공동체를 통한 교류의 활성화 등을 제시할 수 있다(Cushing, 1998). 대표적인 과학자로 잘 알려진 과학자는 Newton이나 과학혁명의 분야를 역학 외에 화학, 천문학 등을 살펴본다면 다양한 과학자들이 대상이 될 수 있다. 천문학에서는 Kepler, Galileo, Newton 등이, 화학에서는 Boyle과 Lavoisier, 생물학에서는 Harvey 등이 포함된다. 그러나 과학혁명에 큰 영향을 미친 사조는 Bacon의 경험주의로서, 실험과 관찰을 통한 자연현상의 설명과 예측이 중심이 된 사례를 제시하는 것이 가장 적절하다고 파악하였다. Newton의 경우, 과학혁명의 핵심적 인물로 볼 수는 있으나 그의 저서나 접근 방법은 실험적 전통과는 다소 거리가 있다. 오히려 그의 정적으로 잘 알려진 Hooke가 다양한 생물과 구조를 상세하게 관찰하고 기술함으로써 경험주의적 전통을 잘 따르고 있다. 비록 탄성력에 관한 Hooke의 법칙 외에는 거의 알려져 있지 않으며, 과학에서의 진전과 발전에 거의 기여한 바가 없는 것처럼 보이지만, <Micrographia>를 살펴보면 물리학 외에도 화학, 생물학 등 다양한 분야에 재능을 가진 창의적 과학자임을 추측할 수 있다. 과학과 발명의 연계라는

관점에서 Newton보다 Hooke를 주목해야 하는 이유는 앞서 언급한 것처럼 Hooke가 보다 실험과 관찰, 일상적 맥락을 기초로 한 경험주의 전통을 잘 따르기 때문이다. 이전 시대와 비교해 과학혁명이 갖는 특징 중 하나는 실험과 관찰을 기초로 한 경험주의에 대한 의존이다. 이는 당시 영국의 철학자였던 Bacon의 영향을 받은 것으로서, Hooke와 Newton을 비롯한 당시 대부분의 과학자들이 이에 영향을 받았다. 그러나 Newton은 수학에 능했던 반면, Hooke는 실험가의 성격이 매우 강했으며(Jardine, 2004, p. 13), 또한 당시 과학자 공동체였던 왕립협회 역시 Bacon의 경험주의적 전통에 따라 설립되었다(Song, 1988). 당시 과학혁명이 나타나게 되는 특징을 설명하기에는 오히려 Hooke가 적절함을 알 수 있다. 게다가 Hooke는 자신이 직접 과학 실험과 관찰을 위한 도구를 개발하고 개선할 수 있는 재주가 많은 사람이었으며, 선형 왕복 운동을 회전 운동으로 바꾸는 자재 이음(universal joint)이나 일정한 유속을 조절하는 유량계 등을 설계하고 제작하였다. 이에 본 연구에서는 영국의 과학혁명의 특징을 잘 드러내는 대표적인 창의적 과학자로서 Hooke를 선정하고 그의 생애와 업적들을 중심으로 문헌 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 Hooke와 관련된 1차 및 2차 저작물을 중심으로 수집하고 분석하였다. 우선, Hooke가 직접 쓴 <Micrographia>, <Lampas> 등의 저서와 왕립협회에서 발간한 <철학회보

Table 1. Topics of articles related to the works of Hooke in Philosophical transactions between 1679 and 1682 (Cooper & Hunter, 2006)

Topic	Number of publications
Observations of planets, moon and sun	12
Improvement of lenses	2
Micrometer	2
Microscopy and micrographia	3
Barometer	3
Sounding	2

(Philosophical Transactions)>에 실린 학술 논문을 1차 저작물로 간주하고 해당 저서에서 나타나는 주요 과학 현상이나 원리가 무엇인지 조사하고, 이에 대한 관찰이나 문제해결 과정이 무엇인지 탐색했다. 아울러 Hooke에 대한 전기나 해당 저서에 대한 해석을 다루고 있는 자료를 2차 저작물로 간주하고 이를 수집해 함께 분석하였다. 이를 통해 Hooke의 활동과 기록에 대한 해석의 신뢰성을 높이고자 하였다. 철학회보에 실린 30건 이상의 논문을 분야별로 분류하면 Table 1과 같다. 가장 많은 논문이 행성의 운동에 관한 것이었고, 그리고 렌즈의 개선, 길이 측정, 생물이나 미시적 수준의 관찰, 기압과 음향 등이었으며, 이를 통해 그가 다양한 분야에 관심이 있었음을 알 수 있다.

III. 연구 결과

Robert Hooke는 1635년 영국의 남부의 작은 섬인 화이트 섬(Isle of Wight)에 태어났으며, 역학과 생물학, 천문학, 공학에 대한 다양한 분야에 업적을 남겼다. 또한 런던 대화재 이후, 측량 감독관으로 시의 재건에도 참여하였다. 여러 과학자들과도 친분이 있었는데, Robert Boyle의 실험 조수였으며, 천문학자인 Christopher Wren과도 막역한 사이로 알려져 있다. 또한 실험에 대한 재능을 인정받아 Gresham College의 교수로 재직하였고, 왕립협회에서도 실험이나 논문을 감독하는 역할

(curator)로 활동한 바 있다. 박학다식한 그의 재능으로 인해 Hooke는 런던의 da Vinci로 불리기도 한다(Bennett *et al.*, 2003; Chapman, 2005). 게다가 그는 당대의 경쟁자였던 Newton과도 많은 점에서 비교할만하다. Robert Hooke는 어린 시절 유복한 가정에서 허약한 체질로 태어나 가정교사로부터 교육을 받았으며, 어렸을 때부터 재능이 탁월하여 음악, 미술, 수학 등 다양한 분야에 재주가 많았다(Bennett *et al.*, 2003). 또한 그의 부모가 일찍 돌아가셔서 그림을 배우러 런던으로 이주했다가 Busby에 의해 천재성이 발견되어 우수한 교육을 받을 수 있었다. Newton 역시 잘 알려진 대로 그의 아버지가 일찍 돌아가시고 조부모의 손에 길러졌고 병약한 체질이었으나 어려서부터 재능이 뛰어나다.

반면, Newton과 Hooke는 여러 가지 점에서 대비되는 특징들을 가지고 있다(Table 2). Newton(1999)의 대표적 저서가 운동학과 역학에 관련된 <자연 철학의 수학적 원리(Principia)>인 반면, Hooke(1961)는 생물학에서 매우 중요한 가치를 지닌 <확대경을 이용한 작은 생명체의 미세 도면 및 생리학적 기술(Micrographia)>을 남긴 바 있다. 그리고 Newton(1952)은 프리즘을 통한 빛의 분산과 합성을 통해 Descartes와 달리 빛이 여러 가지 색깔을 가진 입자들로 구성되어 있음을 주장하였으나, Hooke는 빛이 광원으로부터 에테르를 통해 퍼지는 파동이라고 간주하였으며, 얇은 막에 의한 간섭을 관찰해 막의 두께가 증가하면서 스펙트럼이 반복되는, 주기적인 특징을 관찰하였다. 이를 통해

Table 2. The comparison of the life and work of Newton and Hooke

	Isaac Newton	Robert Hooke
Life	1643~1727	1635~1703
Popular publication	Principia	Micrographia
Popular achievement	Laws of motion ($F=ma$)	Hooke's law ($F=kx$)
Nature of light	Corpuscular theory (color theory)	Undulatory theory
Invention	Reflective telescope	Refractive telescope
Nature of science	Theory-based	Experiment-based

빛의 파동설을 지지하였다(Hooke, 1961, 1705; Song, 1988). 또한 과학에 대한 방법과 접근에도 두 과학자는 매우 큰 차이가 있다. Newton은 그의 저서에서도 나타나듯이 수학적 공리와 연역에 의존한 논리에 집중한 반면, Hooke는 만드는 재주가 매우 뛰어난 사람으로서 직접 망원경과 여러 측정 도구를 설계하고 개발하였다. 즉, Newton은 이론을 보다 신뢰하고 의존한 반면, Hooke는 매우 경험주의적인 전통을 충실히 따르고 있다. 예를 들면, Hooke는 굴절 망원경을 제작하여 실제 천체를 관측하는데 활용하였으며, 망원경의 관측 시야(field of view)와 해상도(resolution power), 구면 수차(spherical aberration) 등을 해결하기 위해 끊임 없이 개선하였다. 반면, Newton은 굴절 망원경이 가지는 이러한 문제를 지적하면서 대안으로 반사 망원경을 만들었지만 실제 천체의 관측에 활용하지는 않은 것으로 알려져 있다(Hooke, 1665, 1676; Jardine, 2004).

무엇보다도 둘의 과학에 대한 입장의 차이는 역사적으로도 논쟁이 되는 만유인력에 관한 문제에서도 드러난다. 둘 사이의 발견에 관한 쟁점이 되었던 태양계 행성의 운동에 대한 설명을 살펴보면 서로 다른 방법을 통해 같은 결론에 도달하였다. Hooke는 실에 매단 추를 움직일 때, 원뿔 모양으로 회전하는 것을 토대로 안쪽으로 끌어당기는 힘이 존재할 것으로 생각하였다. 반면, Newton은 행성의 타원궤도에 대한 운동을 수학적으로 설명하고, 태양과 행성 간의 만유인력과 타원 운동에 의한 원심력의 합력으로 운동을 증명하였다. 흥미로운 점은 Newton보다 Hooke가 먼저 이러한 생각을 하였다는 점이다. 1679년 Hooke는 Newton에게 보내는 서신을 통해 행성의 운동이 접선 방향의 속도(tangential velocity)와 반지름 방향의 속도(radial velocity)의 합에 의해 결정된다고 주장하면서 이에 대해 어떻게 생각하는지 질문하였다(Cooper & Hunter, 2006). 당시 Newton은 반지름 방향의 속도인 만유인력에 대해서는 고려하지 못하고 있었다. 이후, 이를 정리하여 그의 저서에 해당 내용을 정리하여 삽입하였다. 왕립협회에서 Newton의 저서를 발간하는 과정에서 Hooke는 이

사실을 알고 자신에 대한 전혀 언급이 없는 것을 두고, 반대하면서 둘의 사이가 틀어졌으며, 이 과정에서 Hooke는 협회 내에 친했던 여러 인물들과도 멀어지게 되었다. 그리고 Newton이 왕립협회장이 된 이후, Hooke에 관한 많은 업적이나 기록 등이 왕립협회에서 사라지게 되면서, 후세에 그의 업적과 활동이 거의 알려지지 않게 되었다.

이에 본 연구에서는 Hooke의 주요 저서인 <Micrographia> 및 이와 관련된 과학적 업적을 중심으로 그가 수행한 실험과 문제해결 과정을 분석함으로써 어떻게 그와 같은 업적을 거둘 수 있는지 설명하고, 또한 이러한 과정 속에서 나타나는 발명의 역할을 논의하고자 한다.

1. 경험과 관찰을 토대로 한 설명 모형의 구축

Hooke는 Newton만큼의 수학적 재능을 가지고 있지는 않았지만 구체적인 현상을 설명하고 예측할 수 있는 모형을 통해 과학적으로 접근하고자 하였다. 당시 자연철학자들은 행성의 운동을 관찰하고 설명하는 데에 관심이 많았다. 1610년 Galileo는 자신이 만든 망원경으로 직접 목성의 위성과 금성의 위상 변화, 토성의 모습과 태양의 흑점을 직접 관찰하였다. 그리고 1650년대에 이르러는 자연철학자들이 토성의 위성을 발견하고, 화성과 목성의 표면의 관찰을 시도하였다. Hooke는 1664년 목성의 반점이 동쪽에서 서쪽으로 약 2시간 동안 움직이는 것을 관찰하고, 이를 통해 목성의 자전시간을 9시 56분으로 추정하였다(Cooper & Hunter, 2006). Wren, Hevelius 등 당대의 여러 학자들도 망원경을 통해 천문학적 현상을 관찰하고, 운동을 기술하는 것에 매우 큰 관심을 가지고 있었다. 그러나 행성의 운동 원인에 대해 명확히 제시한 과학자들은 별로 없었으며 그 설명을 시도한 과학자들도 Newton과 Hooke를 포함한 소수에 불과하였다. 특히 Hooke가 제안했던 모형들은 대부분 직접 관찰 가능하거나, 체험한 것들을 바탕으로 한 것들이 대부분이었다. 행성의 운동을 설명하기 위한 만유인력의 법칙의 발견에서 Hooke는 Newton보다 먼저

만유인력의 법칙에 대해 아이디어를 가지고 있었다 (Hunter & Schaffer, 1989; Jardine, 2004). 그는 돌맹이를 린넨과 같은 천에 놓고 돌릴 때, 물체의 초기 속도는 직선 방향을 따른다고 생각하였다. Figure 1a처럼 돌맹이가 점 A를 지날 때, 접선 방향으로 움직이려고 하지만 천에 의해 끌어당겨지면서 점 B와 F를 통과하는 경로를 이루게 되는 것으로 생각하였다. 그리고 실제 매단 단진자가 2차원 운동을 할 때, 원뿔 모양으로 움직이고, 그 단면이 원 또는 타원임을 보고 만유인력에 대해 확신하게 되었다. 이러한 생각은 Descartes의 영향을 받은 것으로 이를 기반으로 태양계의 행성들이 원과 비슷한 형태의 주기적 운동을 하게 되는 것은 관성에 의한 접선 방향의 운동과 반지름 방향의 운동의 결합 때문이라고 생각하였다(Cooper & Hunter, 2006). 그는 이러한 생각을 정리하여 서신을 통해 1679년 Newton에게 전달하였지만 당시 Newton은 만유인력에 대해 명확히 이해하지 못하고 있었다. 그러나 그 이후, Newton은 Kepler가 제시한 운동 법칙을 만유인력의 법칙을 통해 설명함으로써 이를 입증하였지만, Hooke는 그의 생각을 수학적으로 정리하는 데에는 실패하였다.

또한 Hooke의 대표적인 업적으로 잘 알려진 물체의 탄성력과 늘어난 길이 사이의 관계를 나타낸 Hooke의 법칙 역시 실험과 관찰을 통해 수립된 규칙이다(Hooke *et al.*, 1678; Patterson, 1948). 중학교 과학 교과서에서는 주로 용수철 또는 고무줄에 추를 매달아 늘어난 길이와 추의 질량 사이의 관계가 비례함($F = -kx$)을 표현하고 있다. 그러나 실제 실험을 수행하면 늘어날수록 용수철이나 고무줄의 두께가 변하거나 원형과 다른 형태로 변화하면서 변형(deformation)이 일어나며, 이로 인해 탄성 계수가 변화하여 비례하는 관계를 얻기 힘들다. 그래서 일반 물리학에서 이를 실험하는 경우에는 Young 율을 측정하도록 하고 있다(Moon, 2016). Hooke 역시 실제 관찰을 통해 이러한 사실을 인지하고 있었으며, 그는 단순히 측정 결과를 근사(approximation)하는 것에 그치지 않고, 실험적 상황에서 금속의 변형이 최소화되어야 하며 이러한 범위 내에서 비례하는 관계가 나타남을 보였다(Cooper & Hunter, 2006).

또한 Hooke는 유체역학에도 관심이 많았는데, 내연기관을 활용한 수력펌프나 확성기, 모세관 현상 등의 관찰과 관련 특성도 상세하게 기록하였다

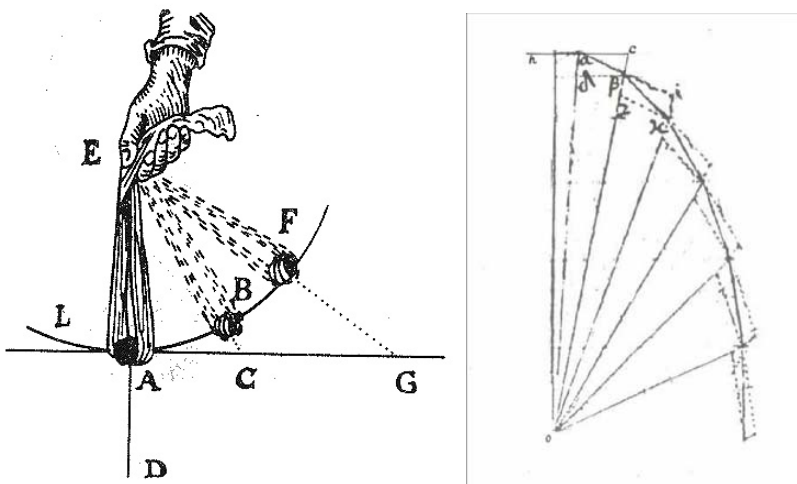


Figure 1. Circular motion on the impeding sling(left, a) and the orbital motion made by Hooke (right, b) (Stanford Encyclopedia of Physics, 2017)

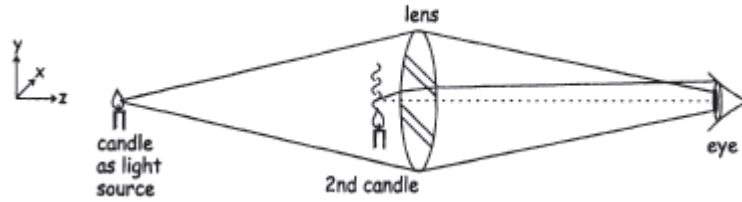


Figure 2. Hooke's original schlieren system (Settles, 2001)

(Hooke, 1961). 그는 오늘날 Schlieren으로 알려진, 투명한 유체의 불균일한 흐름을 관찰하였다 (Rienitz, 1975). 1665년 그는 촛불에 의해 가열된 투명한 공기(유체)의 흐름이 난류의 형태로 나타남을 볼록 렌즈로 쉽게 관찰하였다. 관찰하고자 하는 촛불 뒤에는 광원 역할을 하는 초를 두고, 앞에는 렌즈를 두어 맨눈으로 관찰하였다. 이 때, 초에 의해 가열된 공기는 밀도가 달라지며, 밀도의 차이에 따라 굴절을 역시 변화한다. Gladstone-Dale 법칙에 따르면 기체의 밀도 ρ 는 $n - 1 = k\rho$ (k : 일반적 공기의 경우, $0.23 \text{ cm}^3/\text{g}$)을 따르므로 굴절을 통해 실제 투명한 유체의 밀도를 구할 수 있게 된다. Figure 2의 Hooke의 실험에서 광원으로부터 나온 빛은 밀도가 다른 공기층을 통과하여 눈으로 들어 오면서 간섭을 일으키며, 이로 인해 밝기의 정도가 달라진다. 이는 한여름 아스팔트 위의 아지랑이를 관찰하는 것과도 유사하며, 이를 통해 투명한 유체의 밀도 차이를 유추할 수 있게 된다. 그가 관찰한 이러한 방법은 유체의 밀도의 차이($\partial n / \partial x_i$)를 드러내는데 유리하며 불투명한 경우에만 적용할 수 있는 그림자(shadowgraph, $\partial^2 n / \partial x_i^2$)보다 정확한 값을 제시한다. 보다 정확한 이미지를 얻기 위해서는 점광원을 활용하거나 knife-edge를 활용하며, 오목 거울을 통해 평행 광을 얻도록 할 수 있으며, 이는 시뮬레이션이나 고도로 정교한 실험 장치 없이도 일반물리학 수준에서도 쉽게 수행할 수 있다(Settles, 2001). 요컨대 Hooke는 복잡한 장치 없이 주변에서 쉽게 구할 수 있는 도구들을 통해 새로운 과학적 현상을 관찰하고, 일상의 관찰을 통해 행성의 운동을 설명하게 되었다.

만유인력의 법칙과 행성의 운동에 대해 교과서에 서술된 내용들을 살펴보면 쉽게 관찰할 수 없는 근거들을 예로 들고 있으며, 경험적 사실을 통해 유추하기 어렵다. 역사적으로는 Tycho Brahe의 기록을 통해 Kepler의 법칙이 나타나고, 이후 행성의 운동을 Newton의 운동 법칙과 만유인력의 법칙으로 설명되고 있다. 그러나 교과서에서는 만유인력의 법칙이 어떻게 나타나게 되었는지 그 과정에 대한 설명이 생략되어 있으며, 행성의 운동과는 무관하게 Cambridge University에 있는 사과나무를 소개하면서 지상에서의 물체의 운동에 의한 것으로 잘못 소개되고 있다(Jho, 2014a). Kepler의 조화의 법칙을 만유인력을 활용해 설명하는 방식을 채택하고 있지만, 어떻게 만유인력을 가정하게 되었는지 설명하지 않고 있다. 또한 태양중심설을 채택하게 된 이유로 연주시차와 별빛의 청색/적색편이를 제시하고 있지만, 이는 매우 정교한 실험 도구가 없이는 발견이 불가능한 것들이다. 태양중심설에 대한 제안은 15세기부터 본격적으로 논의되었지만, Bessel의 연주시차의 관측은 19세기에 이르러서야 가능하였다. 또한 별빛의 스펙트럼의 변화 역시 상대론적 Doppler 효과에 대한 이해가 있어야 가능한 것으로 수집된 자료와 사실을 통해 추론하거나 얻어진 규칙이 아니라, 정개념에 해당하는 이론이나 원리를 입증하는 방식에 불과하다. 원운동에서 작용하는 구심력과 만유인력을 통해 Kepler의 상수를 구하는 방식은 일종의 자명한 진리로서 만유인력의 법칙을 통해 구체적 사실을 연역하는 과정이다. 이러한 방법을 통해서서는 새로운 설명 규칙이나 방법을 유도하는 데에는 한계가 있다. 거울이나 렌

스에 의해 형성되는 물체의 상 역시 마찬가지이다. 교과서에서는 광선추적법을 통해 상의 형태와 위치를 파악하고자 하지만 학생들은 이를 실제 물리계와 연결시키지 못하는 경우가 대부분이다(Galili & Hazan, 2000; Golberg & McDermott, 1987). 실제 실험을 통해 관찰할 수 있는 것은 광선이 아닌 오직 상이므로, 이를 통해 렌즈의 원리를 귀추적 사고를 통해 파악해야 하지만, 실제 학생들의 학습은 이론을 통해 실험을 확인하는 방향으로 진행되기 때문에 이를 파악하거나 창안해 내는 데에 한계가 있다(Hyun *et al.*, 2016).

학교에서 주로 활용되는 발명적 사고의 여러 기법들도 경험 가능하고 조작 가능한 실체들로부터 출발한다(Jeong *et al.*, 2016). 초등학교에서 소개되고 있는 더하기, 빼기, 크기 바꾸기, 모양 바꾸기, 용도 바꾸기 등 20가지의 기법들과 발명교육에서 종종 활용되는 PMI, SCAMPER 기법 등은 모두 구체적인 대상의 속성이나 요소들을 바꾸거나 치환함으로써 아이디어를 얻는 방식들이다. 학생들의 과학적 지식과 사고 수준 등을 고려할 때, 일상적인 현상이나 물체 등을 관찰하고 이를 통해 규칙을 얻고 설명할 수 있도록 하는 방식을 채택하는 것이 매우 중요하다. 오히려 현재 사용되는 규칙이나 방법들이 어떻게 도출되었는지 안내하고, 이를 변용하거나 개선할 수 있는 방안이 무엇인지 지도하는 것이 필요하다.

2. 실험 및 탐구 맥락에서의 새로운 도구와 방법의 창안

17세기 당시, 많은 자연철학자들이 도구를 통한 자연현상의 관찰에 매우 큰 관심이 있었지만, Hooke는 단지 주어진 도구를 활용해 관찰하는 것에 그치지 않고, 관찰에 필요한 도구를 직접 개선하거나 결합함으로써 새로운 방법을 제시하였다. 17세기의 천문학자들은 Galileo 이래로 망원경을 사용한 관찰에 매우 큰 관심이 있었으며, 목성의 위성이나 토성의 고리 등 새로운 현상들을 발견하게 되었다(Hunter & Schaffer, 1989). 그러나 이

와 동시에 망원경이 가지고 있는 구면 수차나 시야각, 배율의 한계 등의 문제를 겪고 있었다. 특히, 수차의 문제를 해소하기 위해서는 렌즈의 곡률 반경을 늘려야 했으며, 이로 인해 망원경은 매우 크고 길어져야 했다. 이에 폴란드의 과학자였던 Hevelius는 약 46 m에 이르는 매우 긴 망원경을 고안하였다. 영국의 왕립협회 역시 망원경의 제작에 관심이 많았는데, 당시 회원이었던 Goddard와 Niele과 함께 Hooke가 제작에 참여하였다. 그러나 Hooke는 당시 다른 과학자와는 달리 생리학적인 이해를 바탕으로 새로운 접근을 시도하였다. 그는 인간의 눈의 해상도의 한계 때문에 곡률 반경이 큰 망원경을 얻기 위해 1,000 ft 이상의 거대한 망원경이 불필요하다고 주장하였다(Gunther, 1931; Hooke, 1961). 게다가 지구로부터 떨어진 행성이나 별의 거리가 매우 멀기 때문에 평행한 광선으로 가정하고, 조리개의 크기가 오히려 중요하다고 보았다(Bennett *et al.*, 2003). 이에 그는 Richard Reeve의 도움으로 비구면(쌍곡선) 렌즈를 통해 대물렌즈의 초점 거리를 늘렸고, 단일 렌즈가 아닌 복합 렌즈의 활용을 통해 1665년경 왕립협회의 지원으로 새로운 망원경을 개발하였다. 그가 개발한 망원경을 활용해 Wren은 토성의 고리를 발견할 수 있었다. 그는 여기서 그치지 않고 구면 수차 문제를 최소화하기 위해 한쪽이 편평한 렌즈(plano-convex lens)를 고안하였으며, 접안렌즈와 대물렌즈 사이에 여러 종류의 유체를 채워 굴절률을 조정할 수 있음을 보였다(Hooke, 1665; Hunter & Schaffer, 1989).

Hooke는 본래 그가 고안했던 굴절 망원경 외에 Newton이 제안한 새로운 방식의 망원경의 개선에도 기여하였다. 1671년에 Newton은 매우 작은 크기의 실용적인 반사 망원경을 제작하고 이에 대한 특허를 출원하였다(Dupré, 2008). Hooke는 이에 대한 심사에 참여하였는데, 그는 굴절 망원경을 포기한 이유나 제안한 망원경의 이론적 근거 등을 이유로 기각하였다. 이후 Newton은 구면 거울을 활용한 반사 망원경에 대한 논문을 <철학회보>에 제출하였다(Newton & Cassegrain, 1672). 이후, Hooke도 반사 망원경 제작에 관심을 보였는데, 그

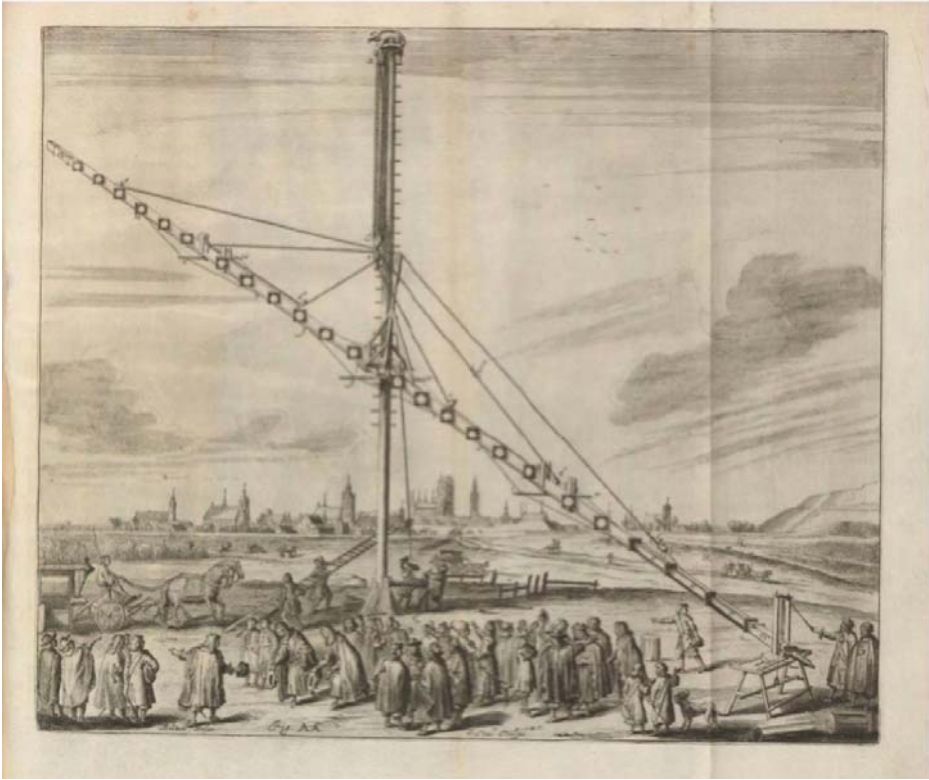


Figure 3. Woodcut of Hevelius' telescope (Wikipedia, 2017a)

는 뒷면을 도금한 거울을 쓸 때, 안쪽 면과 바깥쪽 면에서 반사된 상이 서로 혼동이 일어나는 문제를 발견하였다. 그래서 이를 해결하기 위해 두께가 동일한 거울 대신에 얇은 썩기 모양으로 만들었으며, 이를 통해 반사된 빛이 서로 다른 쪽으로 나아가게 함으로써 상이 서로 겹치는 문제를 해결하였다 (Hooke, 1676).

Hooke는 기존 도구의 개선 외에도 기존에 개발된 여러 도구들을 결합함으로써 실험 결과를 개선할 수 있었다. 그는 행성 사이의 거리 및 각도를 측정하기 위해 천칭과 수평계를 망원경과 결합하였고, 이를 천장에 고정시켜 상대적인 각도와 거리를 측정하고자 하였다. 또한 그는 <Micrographia>에서 현미경을 가지고 면도날이나 털, 곤충의 다리나 날개 등 작은 크기의 물체를 관찰하고 그림과 설명을 추가하였다. Hooke 외에도 네덜란드의 Leeuwenhoek 등 다른 과학자들도 현미경을 활용

했으며, Hooke가 관찰한 것과 유사한 생물에 대한 도해를 남겼다(Hunter & Schaffer, 1989). 그는 현미경과 마이크로미터(micrometer)를 결합시켜 크기나 물체의 거리를 정확하게 측정하였다(Figure 4b). 또한 광학 현미경의 특성에 대한 이해를 바탕으로 기름을 활용한 램프를 활용해 조도를 높여 관찰에서의 해상도를 높였다(Figure 4a).

Hooke는 가는 유리관을 직접 만들었으므로 여러 가지 특이한 유체의 현상들을 관찰하였다. 그는 가는 유리관을 물속에 넣으면 액체 기둥이 상승하는 것을 관찰하였는데, 그는 물에 가해지는 대기압이 동일하다고 가정하고 유리관 속 물 위의 공기가 받는 압력이 관 외부의 물에 작용하는 공기에 비해 적어 물이 밀려 올라가 평형을 이룬다고 결론지었다(Hooke, 1961). 그리고 지름이 다른 여러 개의 관을 물속에 넣어 평형을 이루는 수면의 높이를 관찰하였는데, 이를 통해 관의 지름이 적어질수록 수

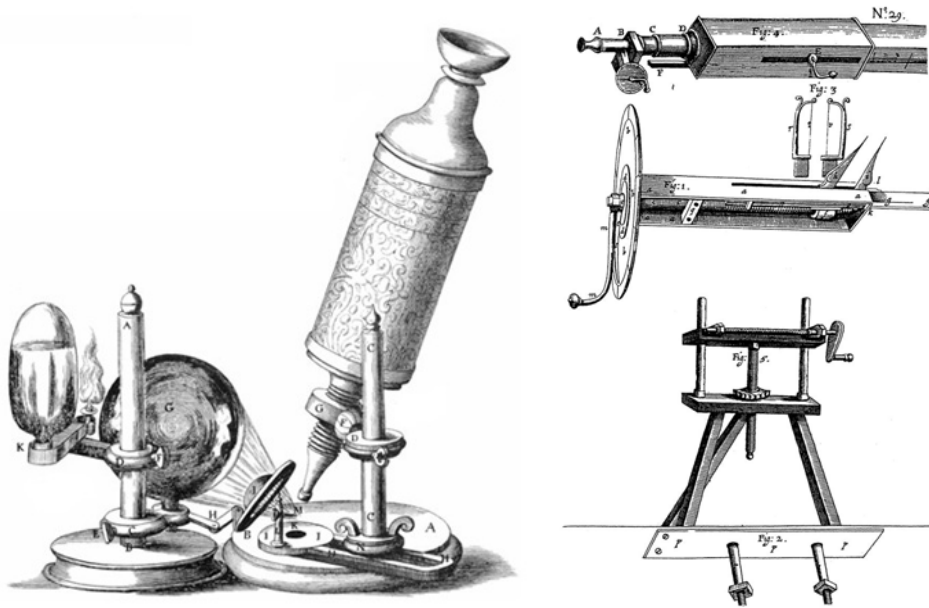


Figure 4. Robert Hooke's compound microscope (left, a) and micrometer drawn by Hooke (right, b) (History of the Microscope, 2017; Wikipedia, 2017b)

면의 높이가 높아진다는 점을 발견하였다. 이를 통해 물과 유리판 표면 사이에 어떤 관계가 있음을 유추하고 둘 사이의 인력에 의해 수면의 높이가 증가한다고 주장하였다. 그는 과학에서의 실험과 관찰을 위해 새로운 도구와 방법을 개발하고 제안하였으며, 또한 기존에 주어진 실험 도구들을 끊임없이 개선함으로써 적극적으로 과학의 맥락에서 기술과 발명을 활용하였다. 일종의 과학 내적 측면에서의 발명을 통해 괄목할만한 연구 성과를 거둘 수 있었다(Lee *et al.*, 2014).

앞서 제시된 것과 달리 교과서에 제시되어 있는 대부분의 실험은 일정한 절차를 따라 측정해야 할 결과들이 사전에 제시되어 있다. 오히려 측정이나 관찰에서 문제점을 제시하고 이를 어떻게 개선할 수 있는지 묻고 있지 않다. 정해진 이론이나 법칙을 확인하기에 적절한 실험 결과를 얻는 것을 강조하고 있다. 그러나 최근 융합인재교육(STEM/STEAM)이 활성화되면서 다양한 방식으로 실험 결과를 측정하는 방안들이 제안되고 있다. 예를 들면

Arduino나 MBL을 활용한 속도 측정 실험이나 전자기 유도 실험, 공명 현상 관측 등이 가능하다(Jang & Kim, 2012; Lee & Oh, 2017). 특히 STEAM 교육은 과학보다 기술, 실과, 음악 등에서 먼저 주목받았는데, 과학 교과 외에 기술이나 실과 교과 교육에서 스크래치나 코딩을 활용한 다양한 실습 제작 활동이 활발하게 이루어지고 있다(Choi *et al.*, 2015; Hong & Sim, 2013; Lee & Seo, 2012; Ryu & Lee, 2012). 최근 나타난 2015 개정 교육과정(Ministry of Education, 2015)에서 진로 선택교과목에 포함되는 생활과 과학, 융합과학 등이 이러한 특성을 반영하고 있지만, 구체적인 탐구 맥락에서 어떻게 새로운 방법을 창안할 것인지 충분히 제안하고 있지 못하다. 과학교과에서 추구하는 교육목표로 핵심역량을 제시하고 있지만, 이를 효과적으로 달성하기 위한 방안으로 어떻게 실물과 관찰을 중심으로 한 발명적 사고와 이를 통한 의사소통, 문제해결력을 강조할 방법을 마련해야 한다.

3. 기기 및 도구 제작을 위한 능숙한 기술과 경험

당대의 과학자들과 비교해 Hooke가 특별한 점은 직접 도구를 만드는 능력과 재주에 있다. 앞서 언급한 모세관 현상의 경우, 그는 직접 유리를 얇게 만들고 하나는 내부가 채워진 유리 튜브로, 다른 하나는 비어있는 튜브를 실험해 같은 결과를 얻음으로써 내부가 아닌 표면의 특징이라는 것을 밝혀냈다(Hooke, 1961). 또한 렌즈 세공에 많은 관심이 있었는데, 당시 렌즈에 의한 구면 수차를 줄이기 위한 방법이 매우 주목받고 있었다. 이에 그는 구면 렌즈가 아니라 쌍곡면을 가지는 렌즈와 편평한 면과 구면을 가지는 렌즈, 여러 렌즈를 결합한 복합 렌즈(compound lens) 등을 설계하고 제작하였다(Chapman, 2005; Cooper & Hunter, 2006; Hooke, 1665). 그가 렌즈 제작에 매달린 현실적인 이유는 당시 렌즈에 대한 수요는 많은 반면, 실제 제작 능력을 갖춘 경우가 많지 않았기 때문이다(Hunter & Schaffer, 1989). 그의 이러한 재주로 인해서 그는 Boyle의 실험 조수가 될 수 있었고, 스승이자 동료였던 Wilkins의 도움으로 왕립협회의 실험 감독(curator)으로 임명되었고, 현미경과 망원경의 발명 및 특허 심사에 참여하였다.

단지 그는 직접적으로 측정과 관찰에 쓰이는 도

구만 제작한 것이 아니며, 기술공학적인 도구 제작에도 관심이 많았다. 예를 들면, 그는 불꽃을 일정하게 유지할 수 있도록 기름을 일정하게 공급할 수 있는 유류 장치를 고안하였다(Gunther, 1931). 그가 쓴 저서인 <Lampas>를 보면 자세히 나와 있는데, Figure 5를 보면 비스듬한 구의 위쪽 절반은 기름으로, 아래쪽 절반은 평형을 위한 고체 물질로 채워져 있다. 만약 아래쪽에 기름보다 밀도가 큰 물질로 채워져 있다고 할 때, Y 와 Y' 은 균형을 이루게 되며, X 와 X' 역시 마찬가지이다(Hooke, 1677). 이를 통해 그는 불꽃이나 기름의 화학적 이해 없이도 역학적 설명만으로 이를 고안할 수 있었다. 또한 Figure 6은 그가 제작한 이음매(universal joint)를 나타낸 것이다. <Lampas>에 제시되어 있는 설계도를 보면 시간을 측정하기 위해 왕복 운동을 회전 운동으로 변경하기 위한 이음매를 제작하였으며, 후에 이 도구는 자신이 시계를 만들기 위해 사용하였다(Éspinasse, 1962). 그가 이와 같은 실물 제작에 관심을 보인 것은 그가 기초를 둔 기하학적 사고 때문일지도 모른다. 예를 들면, 단단히 묶어 있을 때 블록해질 때보다 더 속도가 난다는 것을 항해자들에게 보여주고자 이를 프리즘을 활용한 사고 실험을 제안하였다(Figure 6). 배의 속력은 물의 저항과 풍력 사이의 균형을 이룰 때 최대가 되며, 풍력은 돛과 수직일 때 최대가 되

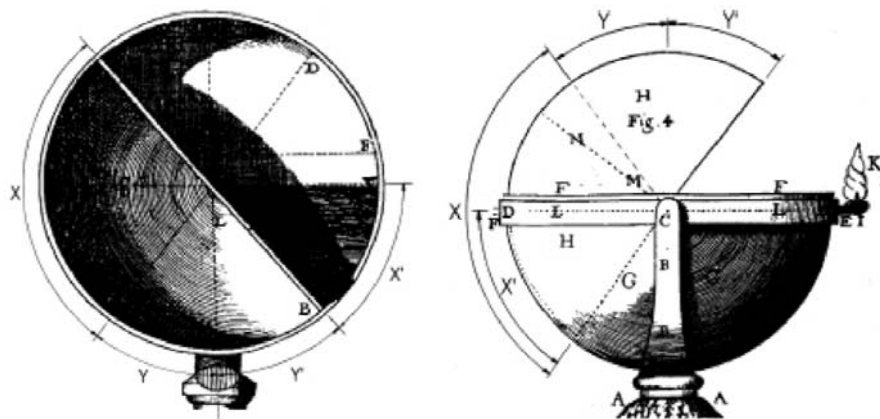


Figure 5. Robert Hooke's constant level device of Lampas (Cooper & Hunter, 2006)

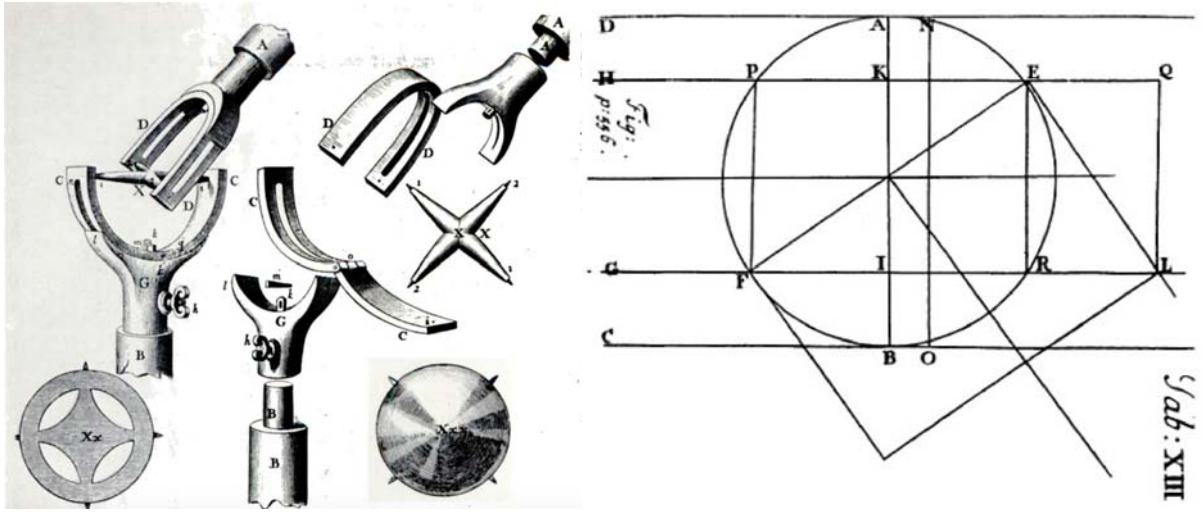


Figure 6. Hooke's universal joint(Éspinasse, 1962) and prism of air (Cooper & Hunter, 2006)

며 돛과 바람의 방향에 따라 그 세기가 결정된다. 이를 통해 수직일 때가 가장 유리함을 설명하고 있고 이 때 돛은 자연스럽게 블록해임을 보여주고 있다. 그는 이와 같은 기하학적 접근을 통해 문제를 해결하고자 하였으며, 이로 인해 이를 바탕으로 실물을 제작하고 실물을 바탕으로 추론하는 데에 매우 익숙하였다.

오늘날 과학교육에서 과학과 공학, 기술 등을 결합하려는 시도는 있지만 실물을 제작하거나, 이를 바탕으로 추론하는 것을 과학 본연의 활동과 탐구와는 구분하려는 경향이 있다(Sim *et al.*, 2015). 실제 효과적인 실험 및 실습을 통한 과학과 타 영역과의 융합을 위해서는 학생들의 실물에 대한 제작이나 조작 능력을 함양하도록 해야 한다. 과학의 본성적 측면에서 기술의 진전이 과학에 영향을 준다는 점을 강조하지만 실제 학생들이 이를 체득할 수 있는 기회는 거의 없는 편이다. 올바른 과학의 본성의 이해와 융합적, 창의적 사고 능력 함양을 위해서는 학생들의 수준에 맞는 도구에 관한 지식과 능력이 명시적으로 학습될 필요가 있다.

Newton과 달리 Hooke는 어떻게 수많은 도구나 방법을 창안하고, 실물을 제작할 수 있었을까? 이에 대한 대답으로 그의 독특한 생애와 고향, 주변

인물 및 가치관 등 다양한 측면을 살펴볼 필요가 있다. 우선 그가 태어나고 자랐던 화이트 섬은 다른 섬에 비해 다양한 자원들이 풍부한 편이었다. 영국 남부 지역의 특성상 석회암으로 이뤄진 하얀 절벽이 많았으며, 하얀 특이한 모래들이 가득했다. 또한 대양과 맞닿아 있어서 바람이나 기후의 변화도 잦았으며, 인근 항구인 Portsmouth에서 출항하는 함대나 배를 쉽게 볼 수 있었다(Chapman, 2005; Jardine, 2004). 또한 주변 환경과 함께 그가 가지고 있던 그림에 대한 재주도 기여했다고 볼 수 있다. 어린 시절 주변 환경에 대한 자극으로 그는 주변에 있는 사물을 따라 그리는 재주가 있었으며, 그의 아버지가 돌아가신 이후 그림을 배우기 위해 London으로 이주했지만 학습에 대한 뛰어난 재능을 알아본 Richard Busby 덕분에 그리스어, 라틴어, 히브리어, 중국어 등 다양한 언어교육과 수학, 음악을 배울 수 있었다. 이후, 건강 문제로 화가가 되는 것은 포기했지만 그가 출판한 <Micrographia>를 비롯한 다양한 저서들을 보면 여러 생물이나 도구들이 매우 사실적으로 잘 표현되어 있음을 알 수 있다.

또한 그의 독특한 실물 제작과 관련된 경력에는 그를 돕던 사람들과도 관련이 있어 보인다. 그의

스승이자 동료였던 John Wilkins는 Copernicus와 Bacon의 사상에 심취한 사람으로서 풍차나 크레인, 일의 원리에 따라 힘을 절약할 수 있는 많은 도구를 만드는 데에 관심이 많았다(Chapman, 2005). 또한 그는 글보다 그림이 더 설득력 있다는 점을 알고 있었고 이러한 점들이 Hooke에도 영향을 미쳤다. 그리고 그의 추천으로 Boyle이라는 탁월한 실험적 화학자와 일할 수 있는 기회도 열렸으며 왕립협회의 회원으로 참여할 수 있었다. 그의 친구로 잘 알려진 Christopher Wren 역시 도구나 기계의 발명에 관심이 많았고 실험을 통한 현상의 관찰에 심취한 학자로서 Hooke와 친했던 많은 과학자들이 경험주의적 전통을 따르는 사람들이었다.

무엇보다도 그가 관찰가능하고 접근 가능한 사물이나 현상을 통해 사고하게 된 경위는 그가 가진 독특한 세계관과도 관련이 깊다(Cooper & Hunter, 2006; Hunter & Schaffer, 1989). 그는 진리가 일상의 현상 속에 감춰져 있다고 믿었으며, 일상 속에서 단순성과 조화를 파악하고자 하였다. 그리고 일상을 통해 수립된 이론과 모형은 다시 실제 현상을 예측하고 설명할 수 있다고 믿었다. 이를 통해 실제 현상과 맥락 속에 발견을 시도하였고, 이론보다 경험적 자료에 근거한 설명을 추구하였다. 그리고 그는 창의력(ingenuity)을 중요한 과학 실험과 활동의 가치로 간주하였다. 여기서 창의력이란 어떤 사물이나 도구를 제작할 수 있는 재주 외에도 지적인 탐구 능력과 새로운 아이디어를 창안할 수 있는 능력들을 포함한다. 특히, 이러한 관점에서 그는 과학에서 조화와 단순성을 추구해야 할 중요한 가치로 여겼다. 그가 작고한 후 남긴 저서를 살펴보면 그가 이러한 독창성에 대해 얼마나 중요하게 여겼는지 알 수 있다:

The career of instruments was dependent on ingenuity: the advance of the two principal examples of artificial organs, the telescope and the microscope, would result from 'the industry of some of the many ingenious men, that are now employ'd about it.' (Hooke, 1705, p. 15)

그의 동료였던 Wren 역시 비슷한 관점을 취하고 있으며, 과학적 사실이나 진리란 일상과 자연 속에 감춰져 있으며, 그것들을 드러내는 것이 과학의 일이라고 생각하였다. 그래서 수학적이고 사변적인 접근보다 주어진 현상을 관찰하고 규칙을 표현해내며, 이를 재현하는 도구를 만드는 것에 매우 큰 관심이 있었다. 이러한 그의 과학에 대한 관점은 Aristotle의 일원론적 관점을 따르는 것으로 신플라톤주의적 관점을 따르는 Descartes나 Newton 등의 다른 과학자들과는 구분된다(Jho, 2014a). 즉, 발명이나 새로운 아이디어 창안을 위한 독창적 사고는 이미 정형화된 지식을 습득하는 것만으로는 한계가 있으며, 자연을 세밀히 관찰함으로써 세상을 보는 독특한 눈을 가질 수 있도록 충분한 기회를 제공해야 한다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 과학혁명의 본산지였던 영국의 경험주의 전통의 대표적인 과학자인 Hooke의 생애와 업적, 문제해결 과정을 통해, 오늘날 과학교육에서의 과학교육에서 발명교육을 연계할 수 있는 방안에 대해 도출하고자 하였다. Hooke는 일상적 맥락에서 관찰가능하고 통용되는 사실을 기반으로 과학적 추론을 시도하였으며, 실제 관찰과 탐구에 필요한 다양한 도구와 방법들을 직접 제작하고 이를 적극적으로 활용하였다. 다른 과학자들과 구분되는 Hooke의 발명적 사고는 호기심을 자극할 수 있는 주변 환경과 그의 예술적 재주, 그리고 다양한 분야에 대한 관심을 이끈 스승과 동료들이 있었기에 가능했으며, 무엇보다도 과학적 이론과 관찰 가능한 실재 사이의 일원론적인 세계관과도 관련이 깊다. 그러나 오늘날의 과학교육에서는 수학적 증명이나 이론적 접근을 따르는 순수 학문에 대한 요소들을 더 중요하게 생각하고, 상상이나 혁신을 이론적 측면에서 간주하는 경향이 있다. 이로 인해 이론을 먼저 학습한 뒤에 문제를 푸는 방식을 주로 택한다. 과학의 발전의 산물이 기술로 나타난다고

생각하지만 본 연구의 사례로 볼 때, 이러한 접근은 오히려 다양한 사고나 영감을 자극하는 데에 해가 될 수 있다(Cooper & Hunter, 2006, p. 107).

그렇다면 오늘날 과학교육에서 어떻게 발명교육을 활용할 필요가 있을까? 첫째, 학생들이 실제 현상이나 실험 결과를 관찰하고, 그 결과를 토대로 새로운 규칙이나 주장을 내세울 수 있는 체계화된 학습이 무엇보다 중요하다. 우리나라 과학 교과서나 교재의 설명들을 살펴보면 실험 결과를 통해 추론하는 것이 아니라, 주어진 이론을 통해 현상을 설명하는 방식을 종종 발견할 수 있다(Hyun & Jho, 2015, 2017; Jho, 2014b, 2015). 예를 들면 전기 회로를 연결해 스위치를 닫으면 전구가 켜지는 현상만으로 자유전자의 이동을 설명하거나, 마찰전기로 인한 정전기 유도를 접촉 전기로 단순히 적용시키는 등 실험 결과와는 상반된 경우가 많다. 게다가 교과서에 제시된 대부분의 설명은 자명한 원리로부터 구체적 사실을 입증하는 방식을 택하고 있어 새로운 사실이나 원리를 파악하거나 깨닫는 데에는 논리적으로도 한계가 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 교과서의 설명과 서술의 방식이 전반적으로 전환되어야 한다. 초중등 학교 현장에서 종종 활용되는 20여 가지의 발명적 사고를 살펴보면 대부분 실물을 중심으로 그 크기나 모양, 속성을 변화하거나 치환하는 구체적이고 조작 가능한 방법을 활용하고 있다. 이를 과학교육에도 적용할 수 있도록 구체적 사실을 통해 단계적으로 이론을 접근할 수 있는 과정이 필요하다. 또한 교과서의 진술들이 과학사의 관점에서 과학자들이 알아가는 논리적 과정과도 맞지 않기 때문에 구체적 증거를 통해 주장을 발전시킬 수 있는 논리적 전개를 신중하게 고려해야 한다.

둘째, 과학교육에서 발명을 효과적으로 활용하기 위해서는 한 번에 일상에서 유용하고 쓰임이 많은 발명품이나 아이디어를 생산하려고 하기 보다는 과학적 실험이나 탐구 맥락에서 접근할 필요가 있다. 다양한 종류의 발명을 시도한 Hooke 역시 일상에서의 활용성 보다는 자신이 처한 연구 문제의 해결 과정에서 이를 해소하기 위해 자연스럽게 나타난 것들이었다. 현미경과 오일 램프의 결합을 통한 조

도 조절, 마이크로미터와 접안렌즈의 결합을 통한 길이 측정, 각도기와 망원경을 결합한 별의 위치 측정 등은 모두 당대의 주요한 과학적 문제를 해결하는 과정에서 이뤄진 것들이었다. 오늘날 융합인재교육이나 SW교육에서 활용하는 여러 장비나 기기들 역시 탐구의 맥락에서 실험과 측정을 위해 필요한 기기를 설계하고 개선하는 것이 교육적으로 타당할 것으로 여겨진다. 예를 들면 진자의 운동을 측정하기 위해서 코일을 활용해 전자기 유도를 결합해 쓸 수도 있으며, 물체의 속도를 직접 측정하기 위해 솔레노이드 속을 움직이도록 하여 유도되는 전류를 측정하거나 함으로써 다양한 방법을 시도할 수 있을 것이다(Lee & Sohn, 2017). 또한 pH 미터나 전류계, 검류계 등을 직접 제작함으로써 과학에서 필요한 새로운 측정 도구의 발명과 과학 학습을 연계할 수도 있다(Park & Park, 2015). 이를 기반으로 일상에서의 다양한 자료의 측정과 수집 등으로 확대된다면 빅데이터 등과 결합해 일상의 문제도 해결할 수 있을 것이다. 실험실에서 먼지나 습도를 재는 도구를 일상적으로 확대할 수 있다면 생활환경에서의 미세먼지나 습도를 측정하고 그 원인을 분석하는 등 쉽게 일상과의 접목을 이뤄내고 이를 통해 발명의 범위와 내용을 정교화할 수 있다. 동시에 과학 실험이나 탐구 활동을 통해 스스로 내린 결론이나 주장이 맞는지 검증할 수 있도록 해야 한다. Robert Hooke는 자신이 내린 주장을 확인하기 위해 새로운 도구를 제작하였으며, 도구를 통해 얻은 결과로 다른 현상을 예측하고, 다시 검증하는 과정에서 기존의 도구와 방법들을 끊임없이 고쳐 나갔다. 오늘날 과학영재 및 일반고의 우수학생들을 대상으로 사사연구(R&E)가 다양하게 이뤄지고 있는데, 대부분 주어진 현상에 맞는 이론을 선택하고, 이를 근사하는 과정에 많은 관심을 두고 있다. 초중등 수준에서의 올바른 과학 탐구가 이뤄지려면 학부 수준 이상의 과학 이론이나 법칙에 근거한 복잡한 현상이 아니라, 일상에서 발견 가능한 문제를 직접 설명하려고 시도하고, 해결되지 않는 문제점들을 지속적으로 개선해 나갈 수 있는 방식들이 필요하다.

셋째, 과학교육에서 발명교육의 효과적 접목을

위해서는 실물 제작이나 조작 능력에 대해 구체적으로 다룰 필요가 있다. 또한 이를 통해 실험이나 탐구가 개선될 수 있도록 안내하는 과정이 필요하다. 오늘날 융합인재교육이나 SW교육 등에서 과학이나 공학, 기술 등을 결합하는 것에 관심이 있지만 이를 과학교육에서 다루어야 할 고유의 활동이나 목표로 받아들여지지 않고 있다. 이를 위해서는 과학교육의 목표와 내용에 대한 인식의 전환이 필요하며, 실험 실습 및 제작 활동을 교과 과정 내에 어떻게 효과적으로 반영할 것인지 깊은 고민이 필요하다. Hooke의 경우, 간단한 기하학적 원리를 통해 자신이 주장하는 바를 입증할 수 있는 실물 기반의 모형을 활용하였다. 오늘날의 과학교육에 적용해 본다면 힘과 운동에서 속도나 거리에 대한 측정을 간단한 키트나 도구로 수행할 수 있도록 설계하거나, 자유 낙하 운동에서 거리에 따른 속력 등을 Arduino의 초음파 센서를 활용해 쉽게 거리를 측정하고 시간을 측정해 자유롭게 구할 수 있도록 할 수도 있을 것이다.

무엇보다도 과학과 발명에 대한 효과적 연계가 이뤄지려면 과학의 본성적인 측면에서도 학습이 필요하다. Hooke가 다양한 도구 및 실물 제작에 관심을 두고, 구체적인 현상들을 관찰하고 기술할 수 있었던 것은 과학적 실재에 대한 일원론적 관점을 택하고 있었기 때문이다. 이론과 경험을 이분법적으로 구분하는 방식이나 이론에 대해 우월함을 택하는 경우에는 실험적 결과와 행위를 보조적 수단으로 간주할 우려가 있다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 다양한 과학자들의 창의적 문제해결 과정을 소개함으로써 과학 지식의 성격과 과학적 방법 및 추론들을 이해할 수 있도록 가르쳐야 한다. 이를 통해 수학적 재능을 가진 학생들 외에도 실험과 관찰 등 다양한 재주가 있는 학생들이 과학에 참여하고, 과학에 대한 긍정적 이미지를 가질 수 있도록 노력해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Baigrie, B. S. (2006). *Electricity and magnetism: a historical perspective*. London, England: Greenwood.
- Bennett, J., Cooper, M., Hunter, M., & Jardine, L. (2003). *London's Leonardo: the life and work of Robert Hooke*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Boas, M. (2015). *Robert Boyle and seventeenth-century chemistry*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Buchwald, J. Z. (2012). *Newton and the origin of civilization*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Butterfield, H. (1957). *The origins of modern science, 1300-1800*. New York, NY: Free Press.
- Chapman, A. (2005). *England's Leonardo: Robert Hooke and the seventeenth-century scientific revolution*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cho, J., & Choi, Y. (2009). Image of inventions of secondary science and technology teachers. *The Korean Journal of Technology Education*, 9(2), 152-173.
- Choi, H., Kim, S., & Park, J. (2015). Design proposal for developing an ICT convergent block kit that supports STEAM education: focused on the block shape and method for building forms. *Design Convergence Study*, 14(5), 57-70.
- Choi, Y. H., Kim, Y. I., Kim, K. S., Kim, K. Y., Kim, S. I., Kim, H. P., Moon, D. Y., Park, G. Y., Lee, K. N., Lee, S. W., Lee, J. H., Jeong, J. H., & Whang, M. J. (2013). A study on the validation of subject teaching standard system for invention teachers. *Journal of Korean Practical Arts*

- Education*, 26(1), 157-177.
- Cooper, M., & Hunter, M. (Eds.). (2006). *Robert Hooke: tercentennial studies*. Aldershot, Hants: Ashgate.
- Curriculum Standing Committee of National Education Professional Association [CSCNEPA]. (2007). *Developing a 21st century school curriculum for all Australian students*. Retrieved from http://www.acsa.edu.au/pages/images/CS_CNEPA_paper_June087.pdf
- Cushing, J. T. (1998). *Philosophical concepts in physics: the historical relation between philosophy and scientific theories*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Department for Education [DfE]. (2014). *The national curriculum in England-Framework document*. London, England: Author.
- Dupré, S. (2008). Newton's telescope in print: the role of images in the reception of Newton's instrument. *Perspectives on Science*, 16(4), 328-359.
- Éspinasse, M. (1962). *Robert Hooke*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108-119.
- Gunther, R. T. (Ed.) (1931). *Early science in Oxford: the cutler lectures of Robert Hooke*. London, England: Dawsons of Pall Mall.
- Harman, P. M. (1982). *Energy, force and matter: the conceptual development of nineteenth-century physics*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Heilbron, J. L. (2010). *Galileo*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Helden, A. V. (1968). Christopher Wren's 'De Corpore Saturni'. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 23(2), 213-229.
- History of the Microscope. (2017). *Microscope history: Robert Hooke (1635-1703)*. Retrieved from <http://www.history-of-the-microscope.org/images/Robert-Hooke-early-microscope1.jpg>
- Hong, G., & Sim, J. (2013). A study of STEAM education for elementary science subject with robots. *Journal of the Korean Association of Information Education*, 17(1), 83-91.
- Hooke, R. (1665). A method, by which a glass of a small plano-convex sphere may be made to refract the rayes of light to a focus of a far greater distance, than is usual. *Philosophical Transactions*, 1(1-22), 202-203. doi:10.1098/rstl.1665.0088
- Hooke, R. (1676). *A description of helioscopes and some other instrument*. London, England: Printed by T. R. for John Martyn.
- Hooke, R. (1677). *Lampas, or, Descriptions of some mechanical improvements of lamps & waterpoises: Together with some other physical and mechanical discoveries* (Early English books online). London, England: Printed for John Martyn.
- Hooke, R., Papin, Denis, Young, James, Sturmy, Samuel, & G. T. (1678). *Lectures de potentia restitutiva, or, Of spring:*

- Explaining the power of springing bodies : To which are added some collections viz. a description of Dr. Pappins wind-fountain and force-pump, Mr. Young's observation concerning natural fountains, some other considerations concerning that subject, Captain Sturmy's remarks of a subterraneous cave and cistern, Mr. G.T. observations made on the Pike of Teneriff, 1674, some reflections and conjectures occasioned thereupon, a relation of a late eruption in the Isle of Palma (Early English books online). London: Printed for John Martyn .*
- Hooke, R. (1705). *Posthumous works of Dr. Robert Hooke containing his cutlerian lectures, and other discourses* (R. Waller Ed.). London, England: Royal Society.
- Hooke, R. (1961). *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses, with observations and inquiries thereupon*. Mineola, NY: Dover Publications. (Original work published 1665)
- Hunter, M., & Schaffer, S. (1989). *Robert Hooke: new studies*. Suffolk, England: The Boydell Press.
- Hyun, D., & Jho, H. (2015). Proposal of experimental apparatus for learning about torque. *New Physics: Sae Mulli*, 65(12), 1209-1222.
- Hyun, D., Shin, A., & Kim, D. (2016). Development of a transparent screen for observing images and its characteristics. *New Physics: Sae Mulli*, 66(1), 72-81.
- Hyun, D., & Jho, H. (2017). An analysis of experiments related to electrostatics in secondary school textbooks and a proposal of experiments for better understanding of electrostatics. *New Physics: Sae Mulli*, 67(10), 975-990.
- Jang, S.-J., & Kim, S.-H. (2012). An experiment on Faraday's law of induction by using an MBL. *New Physics: Sae Mulli*, 62(6), 612-617.
- Jardine, L. (2004). *The curious life of Robert Hooke: the man who measured London*. New York, NY: HarperCollins.
- Jeong, D.-H., Kim, K.-T., & Moon, D.-Y. (2016). Analysis of importance and performance on creative thinking technique of in-service and pre-service elementary school teachers. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 29(2), 93-107.
- Jho, H. (2014a). Implications of science education as interdisciplinary education through the cases of scientists and artists in the modern era: focus on the relationship between science and the arts. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(8), 755-765.
- Jho, H. (2014b). Textbook analysis of visual representations about science concepts related to electric circuits. *New Physics: Sae Mulli*, 64(12), 1162-1171.
- Jho, H. (2015). Analysis of electricity and magnetism presented in middle-school textbooks from the perspective of the history of science. *New Physics: Sae Mulli*, 65(10), 982-993.
- Jho, H. (2017). The changes of higher education and the tasks of general education according to the fourth industrial revolution. *Korean Journal of General Education*, 11(2), 53-89.
- Jung, J. (2015). A study on the appropriateness of contents in 'technology and invention' unit in 'technology-home economics' textbooks per 2009 revised curriculum.

- The Journal of Practical Arts Education*, 21(1), 75-91.
- Kang, I., & Kim, M. (2017). Exploring educational effects of maker activity in an elementary school class. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 17(14), 487-515.
- Kim, J.-S. (2016). Elementary school pre-service teachers' perception and educational needs toward invention education. *The Journal of Practical Arts Education*, 28(2), 189-206.
- Kim, T., & Jo, H.-J. (2012). An analysis of teachers' educational needs on 'introductory of invention and patent' in invention education. *The Journal of Vocational Education Research*, 31(2), 315-338.
- Kim, Y. (2014). Educational needs analysis of job competencies for elementary invention teachers. *Journal of Practical Arts Education*, 27(1), 201-218.
- Kim, Y., Seo, H.-A., & Park, J. (2013). An analysis on problem-finding patterns of well-known creative scientists. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(7), 1285-1299.
- Kuhn, T. S. (2012). *The structure of scientific revolutions with an introductory essay by Ian Hacking*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Lawson, I. (2016). Crafting the microworld.: how Robert Hooke constructed knowledge about small things. *Notes and Records of the Royal Society*, 70, 23-44.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lee, B., Shim, K.-C., & Kim, H.-B. (2017). Perception of science educators about invention education in science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(1), 17-24.
- Lee, B., Son, J., Park, J., Lee, K., Jho, H., Son, M., Jeon, H., Lee, Y., Lee, K., Park, M., & Kim, M. (2014). *A study on the encouragement of invention and intellectual property education in science (gifted) education*. Seoul: Korean Intellectual Property Office.
- Lee, C., & Seo, W. (2012). The development and application of creative design education program based on integrative STEAM on through making automata. *The Korean Journal of Technology Education*, 12(1), 67-91.
- Lee, J., Park, K., Jin, S., Chun, M., Ryu, J., Lee, H., Lee, Y., & Lee, K. (2014). Teachers' perception on differentiation of gifted education in invention from gifted education in science. *Journal of Gifted/Talented Education*, 24(4), 597-612.
- Lee, S., & Oh, W. (2017). Middle school students' metacognition in the arduino-based speed-measuring algorithm development process. *New Physics: Sae Mulli*, 67(9), 1115-1123.
- Lee, S., & Sohn, S. (2017). Analysis of the motion of a pendulum by using Faraday's law of electromagnetic induction. *New Physics: Sae Mulli*, 67(3), 388-397.
- Lee, Y.-C., & Kim, H.-P. (2017). Analysis of invention education contents reflected to elementary school textbooks. *The Journal of Korean Practical Arts Education*, 23(1), 79-95.

- Lee, Y. J. (2015). The validation for developing contents system of invention education. *The Journal of Practical Arts Education*, 21(4), 161-181.
- Ministry of Education [MOE]. (2013). *Science syllabus primary 2014*. Singapore, Singapore: Curriculum Planning & Development Division.
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *The 2015 revised Korean national science curriculum*. No. 2015-74. Sejong, Korea: Author.
- Ministry of Education Science and Technology [MEST]. (2011). *National Science Curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Moon, C. (2016). *Introduction to physics experiment*. Seoul, Korea: Chungmungak.
- Navarro, J. (2012). *A history of the electron*. Cambridge: Cambridge University Press.
- New Zealand Ministry of Education. (2007). *The New Zealand curriculum*. New Zealand: Ministry of Education.
- Newton, I. (1952). *Optics: or a treatise of the reflections, refractions, inflexions & colours of light*. Mineola, NY: Dover. (Original work published 1704)
- Newton, I. (1999). *The Principia : mathematical principles of natural philosophy*. (I. B. Cohen and A. Whitman, Trans). Berkeley, CA: University of California Press.
- Newton, I., & Cassegrain, M. (1672). Mr. Isaac Newton's Considerations upon Part of a Letter of Monsuur de Berce Printed in the Eight French Memoire, Concerning the Cata-Drioptrical Telescope, Pretended to be Improv'd and Refined by M. Cassegrain. *Philosophical Transactions* (1665-1678), 7, 4056-4059.
- Park, W., & Park, I.-W. (2015). Development of an elementary invention program on the basis of fabricating activity for a simple gravimeter and its application to science class. *The Journal of Korea Elementary Education*, 26(1), 175-186.
- Patterson, L. D. (1948). Robert Hooke and the conservation of energy. *Isis*, 38(3/4), 151-156.
- Pedretti, C. (2004). *Leonardo: art and science*. Cobham, England: TAJ Books.
- Rienitz, J. (1975). Schlieren experiment 300 years ago. *Nature*, 254, 293-294.
- Ryu, C.-G., & Lee, C.-H. (2012). Effects that scratch programming has on creative problem-solving for gifted elementary students. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 25(1), 149-169.
- Seo, H., Son, J., Lee, B., Jeong, H., & Maeng, H. (2006). *Content standards for invention education: Introduction*. Seoul, Korea: Korean Educational Development Institute.
- Settles, G. S. (2001). *Schlieren and shadowgraph techniques: visualizing phenomena in transparent media*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Shapin, S. (1998). *The scientific revolution*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Sim, J., Lee, Y., Kim, H. (2015). Understanding STEM, STEAM education, and addressing the issues facing STEAM in the Korean context. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(4), 709-723.
- Son, J., & Lee, B. (2017). Analysis of relevance of Korean and foreign science curricula and invention. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(4), 651-658.
- Song, S. (1988). A Re-evaluation of Robert Hooke. *The Korean Historical Review*,

120, 41-56.

Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2017). Descartes' physics. Retrieved from <https://plato.stanford.edu/entries/descartes-physics/>

Wikipedia. (2017a). *Johannes Hevelius*. Retrieved from https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Houghton_Typ_620.73.451_-_Johannes_Hevelius%2C_Machinae_coelestis%2C_1673.jpg

Wikipedia. (2017b). *William Gascoigne*. Retrieved from https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/58/Gascoigne%27s_micrometer_as_drawn_by_Robert_Hooke.JPG/800px-Gascoigne%27s_micrometer_as_drawn_by_Robert_Hooke.JPG

국 문 요 약

본 연구는 과학혁명 시기의 창의적 과학자 중 한 명인 Hooke의 생애와 업적을 통해, 오늘날 과학교육에서의 발명교육에 대한 시사점을 제시하고자 하였다. 이에 Hooke에 의해 출간된 저서와 논문을 중심으로 그의 업적과 창의적 문제해결 과정을 통해 나타나는 특징을 범주화하고 영향을 미친 배경이 무엇인지 논의하였다. 연구 결과, Hooke는 일상적 맥락에서 관찰가능하고 통용되는 사실을 기반으로 과학적 추론을 시도하였으며, 실제 관찰과 탐구에 필요한 다양한 도구와 방법들을 직접 제작하고 이를 적극적으로 활용하였다. 다른 과학자들과 구분되는 Hooke의 발명에 관한 천재성은 호기심을 자극할 수 있는 주변 환경과 그의 예술적 재주, 그리고 다양한 분야에 대한 관심을 이끈 스승과 동료들이 있었기에 가능했다. 또한 과학적 이론과 관찰 가능한 실재 사이의 일원론적인 세계관을 지지함으로써 실물 및 도구의 제작을 통한 이론의 창안을 시도하였다. 이에 본 연구에서는 이를 토대로 오늘날 과학교육에서 발명교육을 연계한 실천방안과 시사점을 제시하였다.

주제어: 로버트 후크, 창의적 문제해결, 발명교육, 발명적 사고