



근대 과학자와 예술가의 사례를 통해 살펴 본 융복합교육으로서의 과학교육: 과학과 예술을 중심으로

조현국*
단국대학교

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

Hunkoog Jho*
Dankook University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 October 2014

Received in revised form

9 December 2014

Accepted 19 December 2014

Keywords:

interdisciplinary education,
science and art,
history of science,
convergence

ABSTRACT

The convergence and consilience in education (hereafter, interdisciplinary education) is receiving great attention from societies. This study aims to investigate the works of scientists and artists who have intended to combine science with the arts in the modern era, to take into account the socio-philosophical setbacks during the period, and to suggest pedagogical implications of science education as interdisciplinary education. The concept of interdisciplinary education stems from Plato's thought, idea, as a comprehensive and invariant truth. The renaissance, full of enrichment about scientific achievement, was based on Neo-Platonism pursuing holistic-synthetic approach. During the time, scientists presented in this study tried to find comprehensive principles and borrow useful method from the arts. In such a context, scientists not only made use of the arts for expression of scientific knowledge, but also drew conclusion by analogical reasoning between science and the arts. Artists, as well, relied upon anatomy and optics especially, to elaborate linear perspective and even developed their own scientific knowledge through personal experience. Hence, contemporary science education should encourage students to hold a holistic viewpoint about science and the arts, articulate explicit goals and outcomes as interdisciplinary education, implement meta-disciplinary instruction about science and the arts, and develop assessment framework for collaborative learning. There may be good examples for inter-disciplinary education as listed: illustrating scientific ideas through the arts and vice versa, organizing collaborative works and evaluations criteria for them, and stressing problem solving on a daily basis.

I. 서론

오늘날 과학기술의 발전은 현대 사회의 생활의 변화를 가져 왔으며, 과학기술을 통한 부가가치로 인해 과학이 경제성장의 주요 동력원으로 여겨지면서 과학교육에 대한 관심이 증대되고 있다. 최근 발표된 미국의 차세대 과학교육기준(Next Generation Science Standards; NGSS)에서는 기술과 공학 분야의 내용 및 실천이 구체적으로 기술되어 있으며, 싱가포르의 초·중등 교육과정에서는 발명적 사고와 활동을 강조하며, 우리나라의 2009 개정 교육과정에서도 첨단 과학기술이 강조된 융합인재 교육이 강조되었다(Ministry of Education, 2013; Ministry of Education, Science and Technology(MEST), 2011; National Research Council, 2012). 뿐만 아니라 오늘날 새로운 아이디어와 창의성을 통한 제품이나 기술의 탄생에 주목하면서 기존의 이종(異種) 간의 협력과 통합, 학제 간 연구의 활성화가 가속화되고 있다. 공학 분야를 중심으로 서로 다른 응용 학문과의 결합뿐만 아니라 심리학, 사회학, 예술 등의 인문·사회·예술과의 통합으로 확대되고 있다. 과학교육의 경우, 아이디어와 창의성, 예술적 감수성 등을 위해 일반인 및 영재를 위한 창의성 교육과 과학 내의 통합 교육, 예술과 과학의

통합 교육 등이 시도되어 왔다(Kim, 2012; Na & Kwon, 2014). 이는 결국 일상의 문제와 관련된 과학 지식을 이해하고 이에 대한 비판적 사고와 문제 해결 능력을 강조하므로, 과학적 소양과도 일맥상통한다(American Association for the Advancement of Science(AAAS), 1989, 1993; Hodson, 2008). 여러 교과와 학문 간의 통합에 대한 흐름은 오늘날에 갑자기 이루어진 것이 아니다. 1970년대 이후, 과학 기술과 관련된 사회 문제로 인한 관심이 증대되면서 STS(Science-Technology-Society), 과학 관련 사회적 쟁점(socio-scientific issue)이 대두되었고, 이공계 기술 인력의 확보와 창의적 인재 양성을 목적으로 STEM(Science-Technology-Engineering-Mathematics) 및 예술(Art)을 포함한 STEAM, 대주제(big idea)를 중심으로 한 통합 과학교육 등이 주목 받고 있다(Ahn & Kwon, 2012; Bang et al., 2013; Solomon & Aikenhead, 1994; Son et al., 2001; Yakman, 2007; Zeidler et al., 2005).

특히 최근 일어나고 있는 각국의 과학교육 공식 문서에서는 통합과 관련된 기능이 강조되고 있다. 우리나라 2009 개정 교육과정에서는 실생활의 문제해결과 탐구 능력을 강조함으로써 융합인재 교육(STEAM)이 표제어로 제시되었으며(MEST, 2011), 2015년에는 문·이과 통합

* 교신저자 : 조현국 (hjho80@dankook.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.8.0755>

교육과정이 구성 중에 있다. 미국의 경우, 차세대과학교육기준(NGSS)에서 통합을 강조한 교차개념(cross-cutting concepts)이 핵심적인 구분 요소로 제시되었다(National Research Council, 2012). 뿐만 아니라 호주나 싱가포르 등의 국가에서도 미래 사회가 요구하는 핵심 역량(competencies)을 중심으로 교육과정을 재편하고 있다(CSCNEPA, 2007; New Zealand Ministry of Education, 2007; OECD, 2001).

예술과의 융합을 강조하는 STEAM 교육의 경우, 예술적, 과학적 창의성 간의 연결로부터의 관심으로 출발하며, 오늘날 이러한 인물을 기르는 것을 목적으로 한다. 최근 들어 융복합교육(특히 STEAM 교육)과 관련된 다양한 프로그램이 개발되고 교사 연수 등이 진행되고 있지만 융복합교육이 가지는 철학적 의미나 교육목표에 대한 논의는 상대적으로 부족하다(Ahn & Kwon, 2012; Na & Kwon, 2014; Woo & Yoo, 2013). 특히, 융복합교육에서 융합, 통합, 복합, 통섭 등이 서로 어떻게 구분되며 교육에서는 이를 어떤 가치를 중심으로 해석해야 하는지, 융복합교육이 추구해야 할 목표나 인재상, 교육을 평가하기 위한 평가 도구나 평가 체계 등은 여전히 부족하고 명료화되지 않고 있다. 특히 과학과 예술의 통합적 측면에서 예술에서의 창의적 설계는 부각되고 있으나 예술을 통해 과학이 획득할 수 있는 교육적 효과나 방법에 대해서 논의가 부족하다(Lee & Kim, 2012; Park & Lee, 2013; Petrie, 1992; Ro & An, 2012).

융복합교육이 가지는 문제점을 해결하기 위해서는 역사적으로 융복합의 사례가 다양하게 나타났던 근대의 과학자들과 예술가들을 참고할 필요가 있다. 융복합의 대표적인 사례로 종종 언급되는 것이 Leonardo da Vinci이다. 그는 화가이면서 역학, 해부학, 천문학 등 다양한 방면에서 재능을 나타냈다(Pedretti, 2004). da Vinci는 르네상스 초기에 나타난 선원근법 외에도 공기 원근법을 도입하였으며, 인체를 묘사한 그림을 통해 풍부한 해부학적 지식을 드러내었다(Gombrich, 2006). 또한 건축과 기하학, 비행기기와 헬리콥터의 날개를 묘사를 통해 과학기술에서도 재능을 보였다(Pedretti, 2004; Strosberg, 2001).

그러나 과학과 예술의 통합을 통해 성과를 거둔 과학자와 예술가는 da Vinci 외에도 다수 존재한다. 그가 살았던 시기인 르네상스 그리고 과학혁명의 시기에는 많은 과학자와 예술가가 활동하였으며, 이는 단지 개인의 천재적 역량 외에도 사회·문화적인 배경과 특징에 기인한 것으로 생각해 볼 수 있다. 즉, 과학의 본성 측면에서 과학적 발견과 탐구 과정에 개인의 특성뿐만 아니라 사회·문화적 배경이 개입했을 수 있음을 추측할 수 있다(Lederman *et al.*, 2002). 이에 본 연구에서는 근대 초기의 과학자와 예술가들의 과학과 예술의 융복합사례를 조사하고, 관련된 사회·문화적 배경을 살펴보자 한다. 나아가 과학자와 예술가들의 융복합 사례에 대한 공통점을 모색하고 이를 통해 오늘날 융복합교육으로서 과학교육이 나아가야 할 방향과 과제에 대해 시사점을 제공하고자 한다.

II. 연구 설계 및 방법

본 연구는 근대의 과학과 예술의 통합 사례를 살펴봄으로써 융복합 교육의 의미와 유형을 규정하고 이를 통해 오늘날 융복합교육에 주는 시사점을 도출하고자 한다. 융복합교육에 대한 정의는 고대 그리스의 Plato, Aristotle, Thales 등 여러 철학자들로부터 제시되었다. 그들은 과학 이외에도 철학이나 윤리학, 정치학 등 다양한 분야에서 활동을

하였으며, 중세 시기에는 신학자를 중심으로 과학, 철학, 윤리학 등을 탐구하였고 현대에도 융복합을 통한 신생학문의 출현과 과학을 활용한 새로운 형태의 예술 장르가 시도되고 있다. 이 중 근대는 과학과 예술의 융합이 본격적으로 이루어진 시기로, 오늘날 교육과정에서 주로 다뤄지는 과학자들 대부분이 출생하였으며 예술을 기반으로 한 다양한 과학적 발견 과정이 이루어졌다. 특히, 이탈리아를 중심으로 시작된 르네상스의 문예 부흥 운동은 알프스 산맥을 넘어 종교개혁으로 전환되었고, 다시 과학혁명으로 연결되었다. 또한 근대의 여러 예술가들은 과학, 수학, 철학 등 다방면에서 활동하면서 여러 학문 분야에서 두각을 나타내었다. 한편 영국을 중심으로 시작된 과학혁명은 지구중심설에서 태양중심설로의 이동을 거치면서 역학, 화학 등의 과학 전반의 발전으로 연결되었다. 이에 본 연구에서는 르네상스 초기 및 과학혁명을 주로 살펴보기로 하였다.

해당 시기 중 연구 대상은 당시에 출생하고 활동한 인물 중 과학과 예술의 통합과 관련된 과학자 및 예술가를 대상으로 선정하였다. 예술가의 경우, 근대 시기에 출생해 활동한 화가 중, 르네상스 초기인 사실주의 화풍을 따르며 선원근법 및 해부학과 관련된 Giotto, Alberti, Dürer와 해부학과 관련된 da Vinci와 Michelangelo을 대상으로 선정하였다. 과학의 경우, 예술적 아이디어를 활용한 과학자들로, 과학혁명의 시초가 된 천문학 혁명과 관련된 과학자들을 주로 살펴보았다(Cushing, 1998; Kim *et al.*, 2013). 천문학 혁명에 기여한 과학자들로는 Copernicus, Galileo, Brahe, Kepler, Newton 등이 있으며 이 중 예술과의 직·간접적 교류와 응용을 보인 Galileo, Kepler, Newton을 대상으로 선정하였다. 또한 지자기를 통해 천체의 운동을 설명하고자 한 Gilbert와 예술에서의 색채 및 타 분야의 융복합과 관련 있는 Maxwell을 포함하였다. 본 연구에서 선정된 과학자와 예술가들은 미술사 및 과학사에서 사실주의 및 천문학 혁명에 해당하며, 과학과 예술을 활용한 사례로 제시한 다수의 문헌을 통해 과학과 예술 간의 교류와 통합을 확인하였다(Cushing, 1998; Gombrich, 2006; Huff, 2003; Kang, 1996; Miller, 1996; Pedretti, 2004; Shlain, 1993; Strosberg, 2001).

선정된 과학자들과 예술가들의 융복합을 살펴보기 위해 과학과 예술과 관련된 성장 배경이나 경험을 조사하였고, 과학적 발견이나 예술 작품의 창조과정에 직·간접적으로 영향을 미친 과학이론이나 예술적 관점이 무엇이 있는지 조사하였다. 예를 들면 과학 또는 예술을 도구주의적 또는 인식론적으로 접근해 활용했는지, 과학과 예술에 관련된 지식의 습득과 교육 내용은 무엇이며 어떻게 학습했는지 논의하였다. 나아가, 여러 과학자들과 예술가들의 창의적 활동에서 나타나는 공통점이 무엇인지 파악함으로써 오늘날 과학과 예술의 통합을 지향하는 융복합교육이 어떤 목표를 가지고, 어떤 방법을 통해 실천해야 하는지 시사점을 제공하고자 하였다.

III. 융복합교육에 대한 철학적 의미

논의에 앞서 본 연구에서 제시하는 융복합이 무엇인지 정의할 필요가 있다. 여러 학문의 통합은 본질적 가치에 대한 보편성 내재를 추구하는 것으로 이는 고대 그리스 철학자 중 하나인 Plato의 관점에서도 유래한다. 그는 세계는 본질적이고 보편적 실재인 이데아(idea)로부터 나온 것으로 인간의 다양한 정신적이고 물질적인 능력 역시 하나의

이데아로부터 파생된다는 관점을 지지하였다(Ross, 1953). 자연 탐구의 학문적 인식은 오직 보편성과 필연성 그리고 불변성을 충족시킬 수 있는 형상에 대해서만 성립한다고 주장하며, 모든 학문적 탐구는 궁극적으로 변증을 통해 통합이 이뤄진다고 믿었다(Suh, 2012). 반면 Aristotle는 현실세계와 정신세계의 구분은 인정하면서도 실재가 관찰 가능하고 경험 가능하다고 생각하였다. 이에 다양한 현실 탐구의 방법과 과정을 인정하였으며 이를 통해 오늘날의 학문 체계 성립에 기여하였다. 과학 역시 그가 쓴 저서인 운동학으로부터 출발하여 운동학, 역학, 천문학 등으로 분화되었으며, 오늘날의 백과사전과 같이 부력, 광학 등 다양한 분야에 대해 다루었다(Lloyd, 2012; Ross, 1960; Shirley & Hoeniger, 1985). Plato와 Aristotle은 결국 이상화되고 보편화된 실재에 대해 각각 관념론적, 실재론적 입장을 택하고 있으며 이는 과학에서의 이성에 의한 논리적 추론과 실험을 통한 경험론의 기본이 되었다(Cushing, 1998). 이후, 두 철학적 거장의 관점은 직·간접적으로 헬레니즘 및 로마 시대에도 깊이 관여하였다. Plato의 이데아에 대한 관점은 중세 시대의 교부 철학으로 이어져 영성과 관련된 교리와 신학의 체계의 정립에 영향을 미쳤다. 중세의 초기에 나타난 교부 철학에서의 영성(spirituality)은 이성이나 경험을 통해 종교를 이해하는 것이 아닌 일종의 계시로 그의 관념론적 관점을 받아들이고 있다. 교부 철학에 이어 나타난 스콜라 철학은 신앙과 성경적 교리를 이성적으로 이해함으로써 달성할 수 있다는 관점에서 Aristotle의 영향을 받을 것으로 해석할 수 있다(Copleston, 1952; Martin, 1996). 중세 시대 예수회(Jesuit School)의 신부나 철학자들을 중심으로 천체 및 전자기 분야의 실험과 상세한 관찰이 이루어졌다(Crombie, 1996; Glick *et al.*, 2005). 그러나 대부분의 과학은 그리스 시대의 목적론(teleology)에 기반을 두어 설명을 시도하였다.

이 같은 예술과 문화에서의 변화는 알프스 산맥을 넘어서 사회와 종교의 개혁으로 이어졌고 과학에서의 많은 혁신과 발전을 가져왔다. 중세에서 근대로의 전환은 인본주의로 대표되는 인간에 대한 관심과 Aristotle의 전통에 따른 실험과 관찰의 증가에도 있겠지만, 신플라톤주의에 따른 보편적이고 절대적인 실재의 추구에 있다고 여겨진다(Cushing, 1998; Vitz & Glimcher, 1984). Plato의 보편적 실재로서의 이데아는 중세까지 이어졌던 지상과 천상의 운동에 대한 구분을 넘어 선 자연 법칙의 일반화에 기여하였다. 예를 들면 Newton이 만유인력의 법칙을 질량을 가진 모든 물체에 적용되는 것으로 일반화하거나, Gilbert가 지자기의 존재를 통해 행성의 운동 역시 자기력으로 통일적으로 설명하려는 시도 등이다(Baigrie, 2007; Crombie, 1996; Miller, 1996; Vitz & Glimcher, 1984). 운동의 원인으로 여겨졌던 영혼의 존재를 물질세계에서 분리했던 기계론적 세계관의 도움을 받은 것이다. Descartes의 이원론은 물리적 현상으로부터 영혼을 분리하고, 목적론적 해석을 과학으로부터 떼어냄으로써 자연 현상을 기술하는 것으로서의 과학의 성격을 규정하였다(Cushing, 1998). 나아가 자연 현상을 수학적으로 설명하고 이해함으로써 일관되고 체계적인 우주와 자연에 대한 인식을 가질 수 있게 하였다(Huff, 2003). 근대를 떠받친 또 다른 철학자조는 계몽주의로서, 이후 수백 년 동안 공교한 지위를 유지하였다.

19세기 이후, 과학기술은 사회 문화와 함께 한 차례 변화를 경험하게 되는데, 계몽주의가 추구하는 절대적 가치와 기준에 대한 붕괴이다. 산업 혁명 이후 나타난 빈부의 격차와 삶의 질의 문제, 제국주의로

인한 식민지의 갈등과 독립, 20세기 초의 세계 대전으로 인한 인간 소외 현상이 나타나자 기존의 질서와 법칙에 대해 부정하는 흐름이 생겨났다(Kim, 1997). 이는 모더니즘의 탄생으로 이어졌으며 미술에서는 오랫동안 지속되었던 재현(episteme) 중심의 사실주의 미술 대신 주관적 표현이 강조되는 표현주의 미술이 나타나며(Gombrich, 2000, 2006), 과학에서는 Maxwell, Mach, Poincare 등의 생각을 바탕으로 상대성이론이 등장하면서 절대적인 좌표계와 운동 등이 거부되었다(Cushing, 1998). 이는 Plato이 추구하는 이데아의 죽음으로 이해될 수 있는데 절대적이고 보편적인 법칙과 기준 대신에 개별화된 지식이 강조되었고, 환원론적 사고로 이어졌다(Vitz & Glimcher, 1984). 고대로부터 근대에 이르기까지 철학의 한 분야로 여겨져 오던 과학은 Whewell이 귀납적 과학 원리를 강조하면서 처음으로 “과학자”라는 용어를 사용하였고 이후 20세기를 지나면서 다양한 학문 분야로 분화되었다(Butts, 1968). 오늘날 대학에 개설된 수많은 이공계 학과들은 대부분 그 역사가 길지 않은 것이 그 예이다.

오늘날 학문 간의 통합이나 협력을 나타내는 용어로는 통섭, 융합 또는 융복합이 쓰이고 있다. 통섭에 대한 근원은 19세기 과학자인 Whewell로, 귀납적 과학철학을 통해 통일되고 단순한 이론의 구성을 기대하였다(Butts, 1968). 하나님의 원리나 원칙을 다양한 분야에 적용되는 것을 의미하며, 이와 유사하게 Wilson(2007)은 생물학을 중심으로 인문학이나 기타 분야의 현상과 개념들이 환원된다고 하는 주장을 제시하였다. 통섭과 함께 쓰이는 융합 또는 융복합(convergence)은 주로 학제 간 연구를 뜻하는데 이는 서로 다른 두 성격의 학문이 만나 새로운 영역을 개척함으로써 과정적이고 실천적인 지식의 특성을 강조하고 있다(Son, 2008; Suh, 2012). 융복합은 과학기술 간의 연결뿐만 아니라 사회과학 및 예술 분야와의 접목과 수렴을 추구한다. 어느 한 분야의 발전만이 아닌 통합과 협력을 통해 하나로 모여 발전하는 것을 뜻한다는 점에서 통섭과 구분된다. 또한 이남인은 부분적이고 국소적인 환원과 통섭은 가능하더라도 모든 것을 하나로 귀결하는 Wilson의 통섭은 불가능함을 역설하였다. 이러한 통섭 또는 융복합의 의미는 교육학에서 이루어진 통합 교육의 측면에서도 이해할 수 있다. Fogarty(2009)는 교과 간의 연결과 함께 개인 내 또는 개인 간 상호작용을 주의 깊게 고려하였으며 그 형태에 따라 분절형, 연결형 등으로 구분하였다. Drake & Burns(2004)는 교과 간 통합의 수준에 따라 다학문(multidisciplinary), 간학문(interdisciplinary), 탈학문(transdisciplinary)으로 구분하였다. 위의 기준에 따른다면 통섭은 다학문 또는 간학문에 해당하며, 융합 또는 융복합은 학제 간 연구의 성격을 떠므로 간학문 또는 탈학문적인 성격을 갖는다. 이에 본 연구에서는 특히 과학과 예술을 연결하고 통합하는 의미에서 융복합교육으로 통일하여 사용하였다.

IV. 과학자들의 예술과의 통합 사례

과학 혁명은 일반적으로 Copernicus의 저서인 <천체의 회전에 관하여>로부터 Newton의 <자연철학의 수학적 원리(principia)>가 나온 시기 사이를 말하며, 과학의 각 분야에 따라 역학 혁명, 화학 혁명, 천문학 혁명 등으로 불린다(Cushing, 1998; Kim *et al.*, 2013). 가장 먼저 나타난 천문학 혁명에서 태양중심설로부터 지구중심설로의 이동은 Copernicus, Galileo, Kepler, Newton 등이 주도하였다. Galileo은 지구

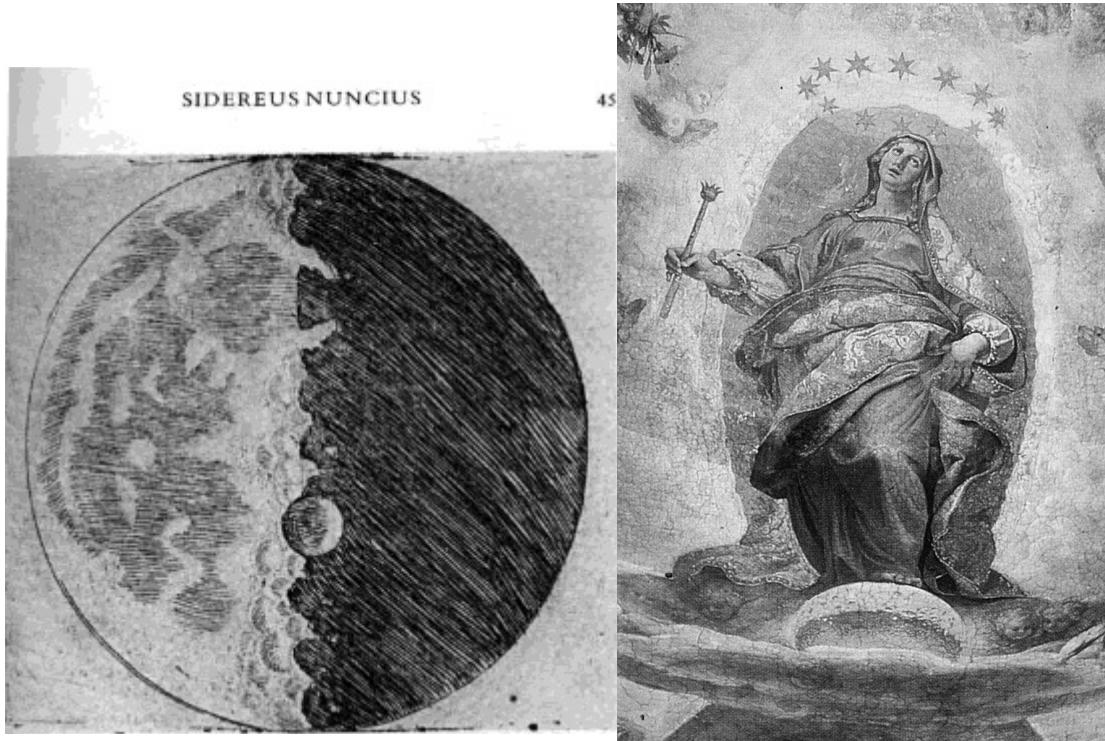


Figure 1. Illustration of the Moon (Galilei & Helden, 2000) and the immaculate conception by Cigoli(Princeton University, 1996)

중심설 외에도 망원경을 통한 관측을 통해 구체적 실험 증거를 제시하였으며, Kepler는 지구의 공전 궤도가 타원임을 보이며, 태양계 내의 행성에 대한 움직임을 <신천문학>과 <세계의 조화>를 통해 설명하였다(Ferguson, 2013). 이후 Newton은 Kepler가 설명하지 못한 운동의 근원이 만유인력임을 밝히고 섭동의 문제를 해결하였다. 또한 Kepler의 행성에 대한 운동의 근원을 제시한 데에는 근대 전자기학의 태동에 기여한 Gilbert의 지자기에 영향을 받았으며, 그의 아이디어는 Maxwell에 의해 완성되었다(Baigrie, 2007). 이 외에도 수많은 근대의 과학자들이 과학적 발전에 기여하였지만, 이 중 예술과 과학의 통합과 협력을 통해 성과를 보인 과학자들을 중심으로 살펴보고자 한다.

이탈리아 출신의 과학자 Galileo는 망원경을 통해 행성 및 위성의 움직임의 관찰함으로써 지구중심설의 근거를 제안하기도 하였지만, 특히 달 표면에 대한 관찰에 있어서도 기여하였다. 당대의 사람들은 달의 표면이 매끈하다고 생각하였고 이는 달을 표현한 그림에서도 잘 나타난다. 그러나 그는 망원경을 통해 달이 밝고 어두운 부분들이 나타남을 살펴보았고 이를 통해 달이 지구와 같이 율통불통한 지형적 고도차가 있음을 추론하였다(Kim et al., 2013). 지면의 경우, 해가 뜰 때 고도가 높은 곳부터 햇빛이 들면서 밝아지는 것에 착안하여 달의 어두운 부분은 낮고 밝은 부분이 높음을 주장하였다. 이는 두 가지의 의미를 내포하는데 하나는 천상의 세계와 지상의 세계를 구분하는 Aristotle의 생각을 넘어선 것이며, 또 다른 하나는 예술적 사조에 인한 것으로 볼 수 있다. 중세까지만 해도 지상의 세계와 천상의 세계를 구분하여 생각하는 경향이 있었는데 이는 지상의 물체의 운동이나 변화는 가변적이고 영원하지 않으나, 천상의 세계는 영원하며 영속적이라고 생각했기 때문이다. 근대에 이르러 많은 과학자들은 이러한 생각을 버리게 되었고, Galileo 역시 지상에서의 현상과 모습이 천상에서도 일치할 것으로 추정하였다. Aristotle은 영속적인(관성에 의한) 운동을 지상은 직선을, 천상에서는 원운동으로 가정하였으나 Galileo는 이를

부정하고 등속 원운동을 모든 관성의 경우로 제안하였다(Cushing, 1998). 그가 망원경으로 인한 관찰 자체만으로 달 표면에 관한 추론을 얻어냈다고 보기는 힘들다. 왜냐하면 유사한 시기에 소수의 영국의 과학자 역시 같은 달의 표면을 관찰하였으나 고도차가 아닌 혹점과 같은 것으로 생각하였다(Kang, 1996). Galileo가 살았던 이탈리아에서는 사실주의 화풍이 유행하였고, 그는 예술 분야의 교류를 통해 이를 인지하였으며 관찰한 현상에 대한 사실적 묘사를 통해 달의 표면을 정확하게 예측할 수 있었다(Baigrie, 1996). 그의 친한 친구였던 화가 Cigoli와의 교류를 통해 서로과학과 예술에서의 지식과 방법에 도움을 얻었으며, Cigoli의 그림에서는 이전 그림과 달리 달의 표면이 매끈하지 않고 거칠게 묘사되었다(Figure 1 참조).

천문학 영역에서의 발견에 기여한 Kepler 역시 예술과 긴밀하게 연결된다. 그는 튜빙겐 대학에서 신학을 공부했으며 그라츠 대학교에서 수학 및 천문학을 가르쳤다. Tycho Brahe의 조수였던 그는 스승의 사후, 화성의 관측 결과를 정리해 공전 궤도가 타원임을 뜻하는 제1 법칙과 면적 속도 일정의 법칙을 포함해 <신천문학>을 발간하였다(Cushing, 1998). 그가 타원 궤도를 제안하게 된 것은 달걀 등을 통한 귀추적 사고를 통해 제안한 것으로도 여겨지나(Ferguson, 2013), 본질적으로는 운동의 원인에 대한 고려도 포함되어 있다. 그는 1, 2 법칙을 통해 천체의 운동에 영향을 미치는 요인은 어디에나 존재하는 빛으로부터 추론하였고 신의 힘에 의해 이루어지는 것으로 생각하였다. 빛의 세기는 거리의 제곱에 반비례하게 되므로, 태양과 가까이 있게 되면 운동의 요인이 강해져서 더 빨라지고, 멀어지면 약해진다고 인식하였다. Newton 역시 만유인력의 법칙을 제안함으로써 이를 해결하지만 역제곱 법칙은 빛에 대한 인식에서 출발하였다(Cushing, 1998; Shlain, 1993). 종교적 의미에서의 빛은 신이 어디에나 존재함을 설명하는 것으로 이는 회화에서의 빛으로부터 기인한다. 중세 및 근대에 그린 많은 종교 회화는 빛을 묘사하는 경우가 많은데, 예수나 성자 주변을 후광

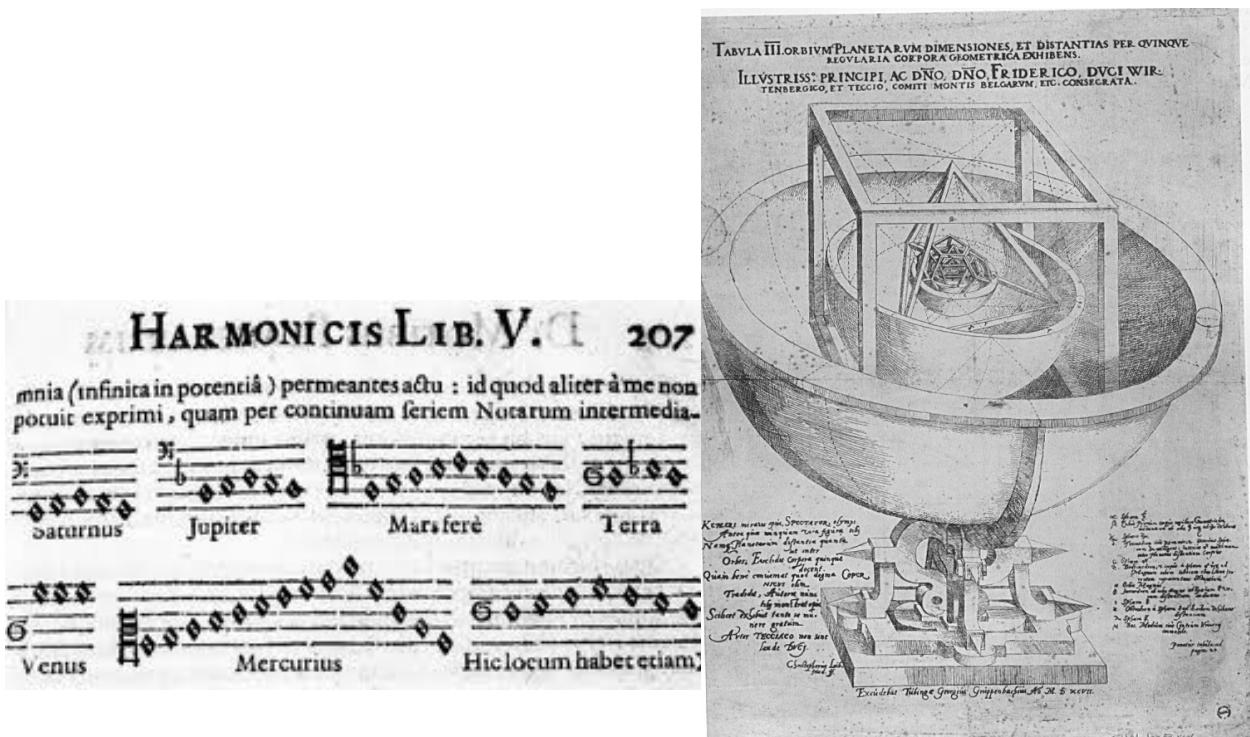


Figure 2. Harmonics (left) and geometry (right) of revolutionary orbits by Kepler (1619)

(halo or mandorla)을 통해 나타내고 있다. 빛이 온 사방에 퍼지는 성질을 이용해(radiation), 신이 어디에나 존재함을 설명하였다(Ferguson, 1954). 또한 그리스 시대로부터 물체의 기동 원인으로 여겨진 영혼이 이와 부합하므로 행성의 움직임을 신에 의한 것으로 해석하였다. Newton 역시 이러한 신학적 관점에 연결되어 나타나며, 질량을 가진 물체 사이의 모든 상황에 적용되는 것으로 만유인력의 법칙을 제안하면서 지상과 천상의 동일한 운동 법칙을 가정하였다(Miller, 1996). 뿐만 아니라, 19세기 에테르(ether)를 대체하는 개념인 장(field)도 원거리 작용 문제를 해소하는 과정에서 나타났다(Hesse, 1962; Nersessian, 1984).

또한 Kepler의 제 3 법칙에서의 행성의 공전 주기와 공전반지름의 관계, 공전 궤도에 대한 규칙적인 배열은 수학 및 음악의 규칙성으로부터 아이디어를 차용한 것이다. 그는 <우주의 조화>에서 Figure 2와 같이 행성의 움직임을 음악에 비유하였다. Galileo의 저서를 읽고 감명을 받은 그는 이탈리아를 여행하던 도중 악사들을 통해 음악에 관심을 가지게 되었고, 이를 통해 음악이 가진 규칙성에 대해 이해하였다(Ferguson, 2013; Voelkel, 2006). 또한 행성의 공전 반지름에서의 비례 관계나 규칙성은 Copernicus가 처음 제안한 것으로, Kepler는 정다면체에 내접 외접하는 원을 통해 이를 추론하였다. Plato가 생존해있던 당시부터 정다면체는 4, 6, 8, 12, 20면체의 5개만 존재한다는 것을 알려져 있었으며 이를 물질을 구성하는 기본 원소로 여겼다. 이것으로부터 착안해 Kepler는 정6면체를 두고 외접하는 구와 내접하는 구를 가정하였다. 그리고 내접하는 구 안에는 정사면체를 내접하도록 한 뒤, 그 안에 다시 구를 내접하도록 하였다. 이와 같이 구성하면 6개의 구가 나타나며 이는 태양을 중심으로 한 수성, 금성, 지구, 화성, 목성, 토성의 공전궤도를 나타낸다고 생각하였다(Cushing, 1998; Ferguson, 2013).

예술로부터 직접적인 영향을 받은 것은 아니지만 Gilbert 역시 창의

적 과학자로 볼 수 있다. 영국의 왕실 의사였던 Gilbert는 캠브리지에서 수학하였으며, 변증법과 수사학, 물리학과 철학을 공부하였다. 그러나 당시 Elizabeth 여왕이 대학교육에서 변증법과 수사학을 강조하면서 물리학과 철학에 대한 학습 비중은 줄어들었으며, 정규 교육에서 과학을 학습한 것은 3-4학년에 불과했다(Baigrie, 2007). 그의 자철석에 관심은 학창 시절부터 출발했고 다양한 물건을 수집하는 것으로부터 취미를 얻어 자신이 관찰하고 추론한 내용을 중심으로 <자기에 대하여>라는 책을 출판하였다. 그는 중세에 자기를 물질적인 것으로 본 것과는 달리 무형의 에테르라고 생각하였으며, 이는 비물질적이고 투명한 성질을 가지는 빛(정확히는 lumen)으로부터 아이디어를 얻었다(Heilbron, 1999; Trifogli, 2000). 그는 자기력을 영혼에 비유하였으며, 자철석으로 만든 바늘이 한 방향을 가리키는 것을 통해 지자기의 존재를 추론하였다. 또한 지구의 N극과 S극이 있듯이 하늘에도 북극이 있으며, 지상뿐만 아니라 천상의 천체의 움직임도 자기력으로 설명하려고 하였다(Baigrie, 2007, 2002). 그의 시도는 Kepler에도 영향을 주어 지상과 천상의 운동을 동일한 방식으로 설명하고자 하였다. 한편, Maxwell은 Faraday가 제안한 역선 및 관찰 현상을 토대로 전자기 에테르의 기하학적 구조를 통해 소용돌이 에테르를 통한 전자기파의 전달 모형으로 전자기장(electromagnetic field)을 제안하였다(Maxwell, 1881). 그가 제안한 전자기장의 개념은 물리적인 모형에만 의존하지 않고 수학적으로 이를 접근해 곡선을 작도하였으며, 이를 통해 예측 가능한 모형을 완성하였다. 그는 그의 유년기 시절 작성한 N개의 점을 통해 포물선을 작도하는 방법을 활용했는데, 수학과 과학이 결합된 예이다(Harman, 1980; Mahon, 2003). 또한 그는 빛의 3원색을 제안하였는데, 이는 기독교에서의 삼위일체 개념에서부터 온 것으로(Turner, 1996), 눈에서의 원추 세포가 인식하는 3가지 색과도 일치한다. 나아가 후기 인상파의 점묘파 화가들에 의해 이러한 색점을 찍는 방식 역시 흡사하다(Shlain, 1993; Strosberg, 2001).

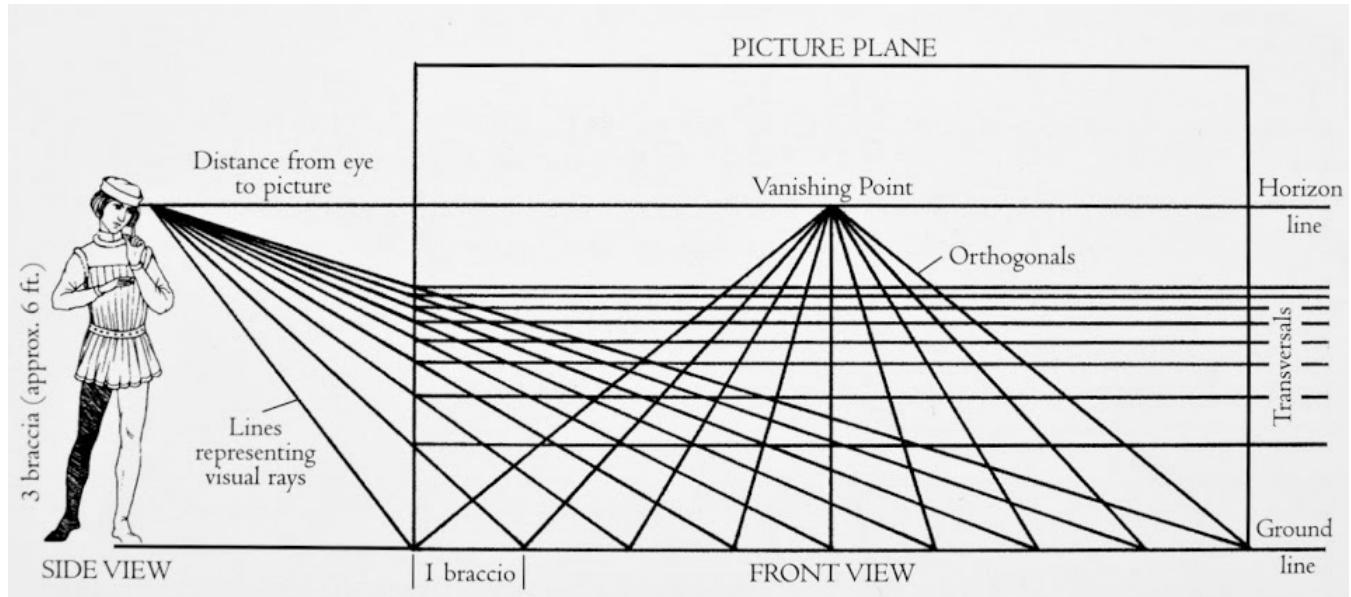


Figure 3. Alberti's linear perspective model (Assier, 2014)

이 외에도 해부학을 연구한 여러 과학자들은 미술의 도움을 받았다. 벨기에의 의사였던 Vesalius는 직접 해부를 통해 중세 의학 지식의 근간이 된 Galenos의 체액설을 부정하고 혈액의 중요성을 주장하였다. 특히, Galenos가 주장한 것과 달리 동맥에 정맥보다 많은 피가 있으며, 폐의 좌우엽 사이에 격막 구멍이 없음을 발견하였다(Gribbin, 2002; Kim et al., 2013). 당시 해부의 중요성을 알리기 위해 종종 수업 도중 해부 시연을 하기도 하였으며, 화가를 불러 해부도를 그리도록 하였다. 그가 출판한 <여섯 개의 해부학 그림>은 인체의 모습을 정밀하게 묘사한 것으로 3개의 그림은 자신이, 다른 3개는 화가가 그린 것을 추가하였다. 이와 같이 그림을 통한 인체의 묘사를 담음으로써 해부학적 지식을 표현하고 전수하려고 하였다.

요컨대 본 연구에서 제시된 과학자들은 예술의 방법적, 내용적 지식을 통해 과학적 발견 과정에 도움을 얻었다. Galileo는 사실주의적 묘사를 통해 관찰한 달의 모습을 표현함으로써 달의 표면에 대해 추론할 수 있었고, Vesalius는 인체의 모습을 미술을 통해 묘사하고 정보를 담아 해부학적 지식을 전달하고자 하였다. 한편, Kepler는 음악에서의 배음과 화음의 규칙성으로부터 천체의 공전 궤도에 대한 규칙성을 유추함으로써 Kepler의 제 3 법칙을 제안하였고, 빛의 복사에 대한 묘사는 태양계 행성 운동의 원인이 된 만유 인력의 법칙으로 발전하는 계기가 되었다. 즉, 과학자들은 예술의 방법을 통해 과학적 사실과 지식을 묘사하고, 예술에서 나타나는 지식과 사실을 과학적 현상과 사실에 유추함으로써 과학적 지식의 창출에 기여할 수 있었다.

V. 예술가들의 과학과의 통합 사례

이탈리아로부터 시작된 문화 예술에서의 혁신은 유럽 전역에서 다양한 분야의 변화와 혁신으로 이어졌다. 항해술의 발달과 신대륙의 발견, 중개 무역의 활성화 등으로 유럽의 도시 문명이 발달하고 인쇄술의 발달을 통해 정보의 교류가 활발해지면서 새로운 문화예술의 흐름이 나타났다. 재생 또는 부활의 의미를 가지는 르네상스(renaissance)는 근대 유럽문화의 기반이 되었다. 직접적으로는 고대 그리스 문화의

부흥과 재생을 의미하며 각종 고전들이 재해석되고 읽혀지게 되었다. 특히 근대의 화가들은 원근법과 사실적 표현을 위해 과학 지식과 방법들을 적극적으로 활용하였으며, 본 연구에서는 이를 중심으로 여러 화가들이 과학을 어떻게 활용하였는지 살펴보자 한다.

특히 융복합의 관점에서 새로운 시대를 연 것은 중세와 르네상스(근대)의 경계에서 있는 Giotto이다. 그는 당대의 거장 Cimabue의 아래에서 수학하였으며, 양감을 통해 원근을 표현하였다. 그의 회화에서 과학에 의존하였음을 알 수 있는데, 성흔(stigmatization)을 표현하기 위해 예수와 성자의 대장을 거울과 같은 상이 바꾸는 모습을 통해 설명하려고 하였다(Galili & Zinn, 2007). 그 외에도 르네상스 시기의 많은 화가들이 과학에 의존하였는데 이는 원근법을 표현하기 위해서이다. 선원근법은 건축가인 Brunelleschi에 의해 건축의 작도 등을 위해 탄생하였고 이는 이후 어두운 방이라는 뜻의 기계(camera obscura)를 통해 화가들에게 이용되었다(Gombrich, 2006; Strosberg, 2001). Brunelleschi의 선원근법을 최초로 적용한 화가는 Masaccio이며 이후, 이후 Alberti와 Dürer에 의해 보다 규칙적인 원근법이 제안되었다. 특히, Alberti는 기하학의 중요성을 강조하였는데, Figure 3과 같이 소실점과 캔버스의 아래 지점들을 연결한 선을 긋는다. 원근을 나타내기 위한 가로선을 그리기 위해서 소실점을 지나면서 캔버스의 아래선과 수평한 선을 긋고 임의의 한 점을 찍는다. 이 때 점으로부터 캔버스의 거리는 바라보는 화가와의 거리를 의미한다. 캔버스 외부의 한 점으로부터 아래에 균등하게 찍힌 점들을 서로 연결한 뒤, 캔버스의 세로선과 만나는 점에 해당하는 부분을 표시한다. 이를 수평선을 긋게 되면 거리에 따라 균일하게 줄어들어 원근을 올바로 표현할 수 있다. 이는 기하학에서 도형의 비례를 활용한 것이다.

독일의 화가인 Dürer는 Alberti와 달리 빛의 성질을 이용해서 원근을 묘사하고자 하였다. 그는 시각을 통한 사물의 인식은 물체의 표면에서 반사된 빛이 눈으로 들어와 인식된다고 생각하였으며, 이를 표현하기 위해 사물과 자신 사이에 촘촘한 격자를 두었다(Figure 4 참조). 격자와 자신 사이를 직선으로 팽팽한 실을 연결한 뒤, 사물의 각 부분이 격자의 어느 부분을 지나가는지 확인하고 이를 표시함으로써 원근

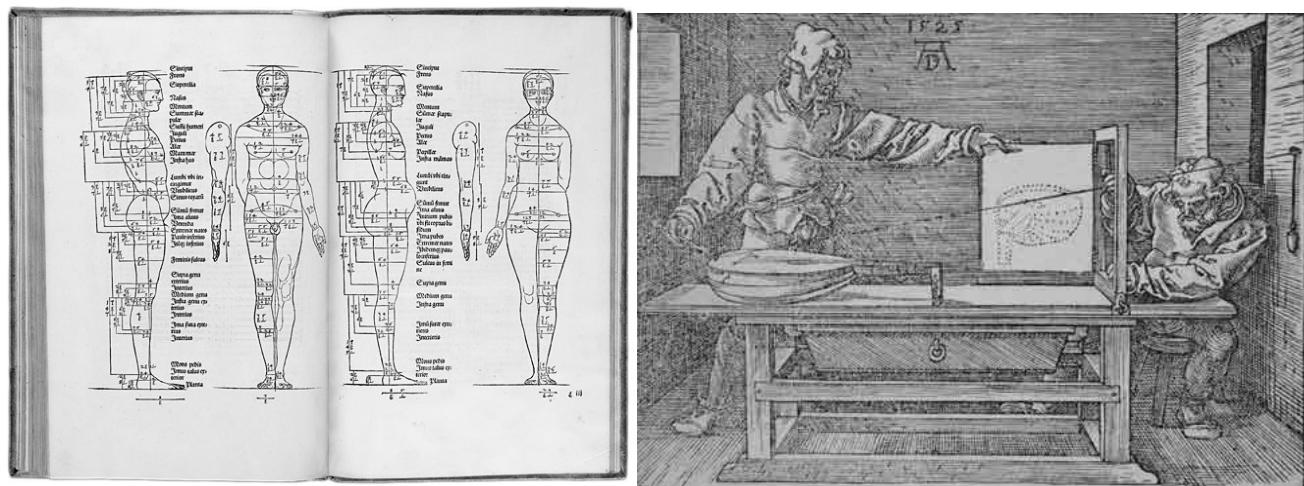


Figure 4. Anatomy in four books on proportion (Dürer, 1532) and linear perspective model of Dürer (SUNY, 1993)

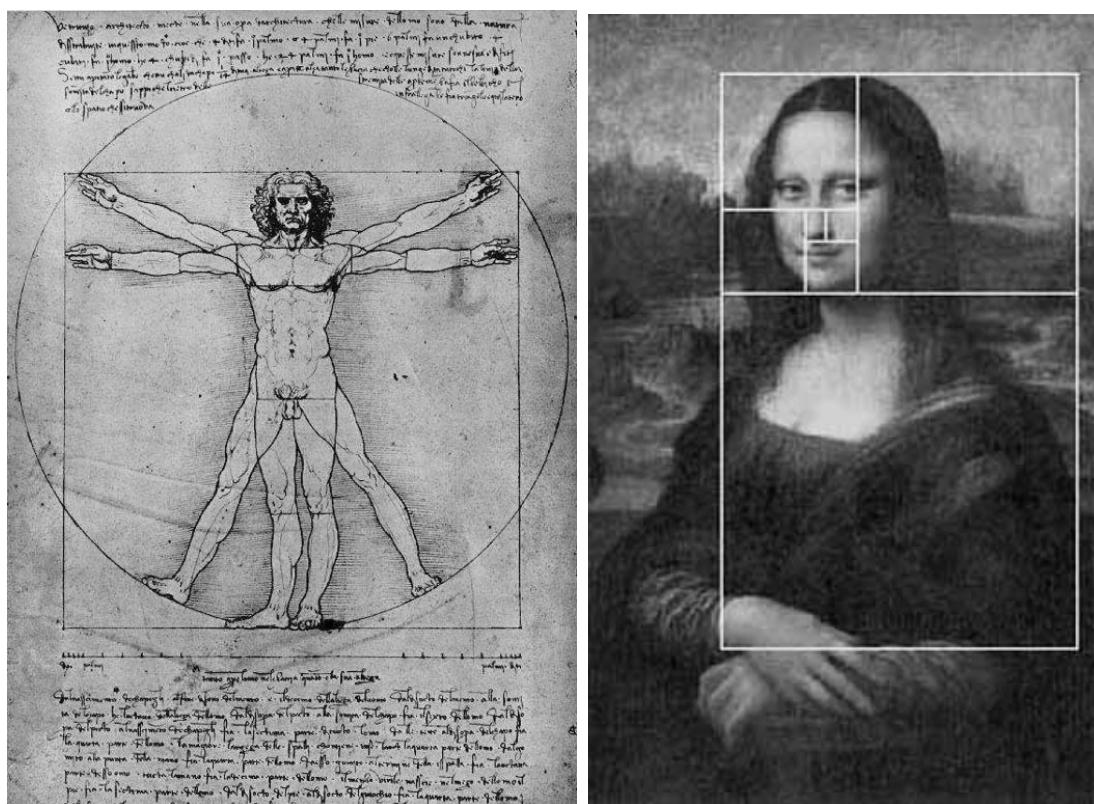


Figure 5. The Vitruvian man (1490) and Mona Lisa (1503-1517) (Strosberg, 2001)

을 정확하게 묘사하고자 하였다. 뿐만 아니라 화가를 위한 원근법 매뉴얼을 작성하면서 이러한 측정 방법과 함께 인체의 각 부분에 대한 설명과 크기, 비례 등을 세밀하게 묘사하였다.

융복합교육의 롤 모델로 여겨지는 Leonardo da Vinci는 과학, 수학, 미술 등 다양한 분야에서 두각을 나타내었고, 당대의 유명한 화가들 역시 사실주의 화풍을 위해 과학에 관심을 보였다(Pedretti, 2004). 그는 이탈리아 핀치라는 시골 태생으로 당대의 유명한 화가이자 조각가, 세공사였던 Verrocchio의 아래에서 수학하였다. 그가 인체를 정확히 묘사할 수 있었던 그가 해부학적 지식과 경험을 갖추었기 때문이다. 인체나 사물의 사실적이고 정확한 묘사를 위해서 그는 해부를 공부하였으며, Rafael, Michelangelo 등의 당대 화가들도 인체의 묘사를 위해 해부학적 경험과 지식을 가졌던 것으로 추측된다(Pedretti, 2004). 또한

Michelangelo는 시스티나 성당의 벽화에 여러 인체 장기의 모습을 형상화해 그려 넣었으며, 해부학과 관련된 책을 출판하였다(Eknayan, 2000; Meshberger, 1990; Suk & Tamargo, 2010). 인체의 해부가 중요한 의미를 차지하는 것은 단순히 사실적인 묘사에 그치지 않으며, 지구와 다른 천상의 천체들을 구분하고, 인간과 자연을 구분해 생각했던 것과 달리 인간을 작은 우주로 묘사하면서 통일된 원리를 적용하려는 시도이기 때문이다.

da Vinci의 경우, <모나리자>, <최후의 만찬>, <수태 고지>와 같은 회화를 살펴보면 선원근법 및 공기원근법을 충실히 따르며 삼각형의 구도를 지키고 있다. 뿐만 아니라, 고대 그리스가 중시하였던 황금비율을 지키고자 하였다. Figure 5를 살펴보면 그가 로마 시대의 건축가 Vitruvius의 <건축 10서>에 나타난 내용을 토대로 인체의 정확한

Table 1. Shared features of interdisciplinary activities in science and art

	Science	Art
Generalization of theory	Explanation of celestial movement based on the observation of terrestrial movement Proposition of magnetic force in the orbital motion and terrestrial phenomenon	Generalization of linear perspective across the context Illustration of the divine presence through the understanding of human bodies(anatomy)
“Borrowing” knowledge from other disciplines	Analogy between regularity of harmony and orbital motion in astronomy Proposition of inverse-square law through radiation of light	Utilization of Camera Obscura(technology) for linear perspective Application of anatomy and optics to perspective
Knowledge acquisition in the informal context	Understanding of arts through personal interest and experience	Participation in dissection of a dead body

비례에 관심을 둔을 알 수 있다. 또한 다양한 그림에서 황금 비율을 따르도록 그림을 묘사하고 있다(Srosberg, 2001). 한편 Michelangelo는 시스티나 성당의 벽화를 그리는 과정에서 아담의 탄생 장면에 신의 모습을 두뇌로 형상화하거나, 인간의 신경 단면 등을 정밀하게 묘사하고 있다. 나아가, 정확한 관찰과 묘사를 통해 해부학적 지식을 담은 저서를 출판하기도 하였다. 이와 같이, 근대의 화가들은 그림을 그리기 위해 선원근법과 해부학을 기초로 보편화된 규칙과 원리를 준수하고자 하였으며, 과학적 지식을 통해 사실적 묘사에 힘썼다. 요컨대 근대의 예술가들은 과학적 방법을 통해 정확한 현상을 묘사하려고 하였으며, 이를 위해 해부학과 광학을 배우고 연습하였다.

VI. 논의 및 제언

본 연구에서는 근대의 과학과 예술을 통합해 새로운 발견 및 창조적 활동을 영위한 과학자들과 예술가들을 살펴보았다. 그 결과, 공통적으로 나타나는 특징들을 요약하면 다음과 같다(Table 1 참조). 첫째, 단일하고 보편적인 법칙을 적용하고 시도하려고 했다. Galileo의 달의 표면에 대한 추론과 Kepler와 Newton의 행성 운동에 대한 설명, Gilbert의 지자기와 천체의 운동에 대한 접근들은 모두 지상이나 천상의 구분 없이, 상황이나 장소에 대한 구분 없이 과학 법칙을 적용하고자 하였다. 이는 Whewell이 언급한 과학철학의 특징이기도 하며, 근대를 지배한 신플라톤주의에 의한 특징이다. 중세를 지배했던 천상과 지상의 구분, 인간과 다른 존재와의 구분을 철폐하고 보편적이고 절대적인 법칙을 추구하고자 하였다. 예술가들 역시 정교화된 선원근법과 해부학을 토대로 인간 및 신, 종교적 존재들을 표현하고자 하였다.

둘째, 주로 하나의 주요한 분야나 입장으로부터 다른 분야의 기술이나 내용을 습득하려고 했다. 화가였던 da Vinci는 예술가의 관점에서 재현을 위해 인체의 해부를 추구하였으며, Galileo는 과학자로서 사실주의적 화풍의 방법들을 통해 관찰에 적용하였다. Kepler와 Newton은 수학을 통해 행성의 운동과 만유인력의 법칙을 표현하고자 하였다. Alberti와 Dürer는 기하학과 광학을 차용함으로써 선원근법을 발전시킬 수 있었다. 이러한 방법들은 일종의 “빌려오기”로 한 분야의 기술이나 지식을 다른 분야로 적용시켜 확대한 것이다(Lee & Kim, 2012; Wineburg & Grossman, 2000). 화가들이 해부를 학습하거나, 카메라 옵스큐라를 통해 그림을 그리거나 과학자들이 신학과 종교적 교리의 특징을 유추하여 과학적 이론을 제시하는 것들이 이에 해당한다. 이러한 방법은 유비추리(analogy)에 해당하는 것으로 비유물과 목표물의 대응 관계를 확인한 뒤, 비유물의 속성을 목표물에도 적용시킨 것들이다. 예를 들면 빛이 거리가 증가함에 따라 빛의 세기는 제곱에 반비례

하듯, 힘 역시 그러하다고 여김으로써 만유 인력의 법칙을 제안하거나 (Cushing, 1998), Kepler가 우주와 음악의 조화를 토대로 행성의 궤도와 속력을 나타낼 때, 규칙성을 발견하고 저음을 토성에 고음을 수성에 빗대어 설명하였다(Ferguson, 2013; Kim et al., 2013).

셋째, 과학과 예술에서의 통합은 전문적인 교육과정을 통해 타 분야의 지식을 습득함으로써 이루어졌다기보다는 개인의 관심과 흥미로부터 출발해 이루어진 비형식적인 학습의 형태를 띠고 있다. 당시 대학교육의 핵심이었던 3학 4과는 논리, 수사학, 변증법 등 읽고 쓰며 산술적인 능력을 기르는 데에 치중하였다. 본 연구에서도 드러나듯 왕립 의사였던 Gilbert는 개인적 관심에 의해 자자기에 대해 탐구하였고 대학 정규과정에서의 물리학과 관련된 경험은 단 2년에 불과했다. 또한 Galileo와 Kepler 역시 자신의 동료와의 교류와 개인적 경험을 통해 미술과 음악에 대한 지식을 습득하였다. 이는 창의적 사고의 발현은 장기간 꾸준한 관심과 호기심을 통해 이루어짐을 의미한다(Weisberg, 2006). 이러한 과학적 발견의 특징을 이루는 배경에는 고대 그리스 문화의 부흥과 함께 나타난 신플라톤주의적인 전체적이고 보편성을 추구하는 철학이 있으며, 오늘날과는 달리 학문이 미분화된 시기였다.

근대 과학자와 예술가들이 보여준 융복합의 사례들은 오늘날 추구해야 할 융복합교육이 어떠해야 하는지 충분한 시사점을 제공한다. 첫째, 융복합교육은 부분이 아닌 전체의 이해를 통해 새로운 관점을 가질 수 있도록 해야 한다. 오늘날의 학문의 전문화와 세분화는 개별화된 진리를 추구한 모더니즘 및 환원론적 사고에 바탕을 둔다. 그러나 개별화되고 전문적 지식에 편중되면 기존 학문의 경계나 틀을 무너뜨리기가 어려워진다. 보다 넓은 시각에서 서로 다른 교과를 바라보는 것이 필요하다. Lee & Kim(2012) 역시 지나치게 세분화된 학문의 관점보다는 초학문적(meta-disciplinary) 관점을 가지는 것이 필요함을 주장하고 있다. 과학이 추구하는 규칙성이나 단순성은 과학에만 국한되지 않으며, 음악에서의 화성, 미술에서의 구도와 추상주의적 접근, 문학에서의 시적 함축 등으로도 풀이될 수 있다. 좀 더 넓은 범위에서 다양한 교과를 바라볼 수 있도록 교육되어야 한다. 대주제를 중심으로 물리학, 화학, 생명 과학 등의 교과를 통합하는 시도도 이와 비슷한 맥락에서 생각해 볼 수 있다(Bang et al., 2013; Brooks, 2009; Elliott & Rollnick, 2010).

둘째, 융복합교육의 목표를 서로 다른 분야의 통합과 이를 통한 새로운 아이디어를 창출하는 것이라고 할 때, 서로 다른 분야 간의 접목과 활용을 적극적으로 시도해야 한다. 본 연구 결과에서 드러난 것처럼 과학적 지식과 방법을 예술에 적용하고, 예술적 방법과 지식을 과학에 적용하는 것이 필요하다. 지금까지 예술을 포함한 융복합교육은 대체로 예술의 감수성이나 주관성에 기반한 상상력, 창의성에만

관심을 두었다(Lee & Kim, 2012; Park & Lee, 2013; Ro & An, 2012). 과학 역시 레이저 아트 등과 같은 표현 방법만 주로 주목받고 있는데, 보다 진밀하고 심도있는 교류와 논의가 필요하다. 20세기 과학과 미술의 관계를 살펴보면 상대성이론과 양자역학과 관련된 사건이 알려지면서 예술가의 관심을 끌었고 이는 표현주의 미술가들을 통해 미술 작품 속에 반영되었다(Jho, 2014; Parkinson, 2008). 융복합교육의 관점에서 과학교육은 단지 과학 지식이나 사실만을 전달하는 것이 아니라, 과학을 통해 어떻게 예술이나 인문학에 기여할 수 있는지 살펴보고 과학적 사실이나 원리들을 다른 분야에서 활용할 수 있는 방법과 예술의 원리와 사고를 과학에 적용시킬 수 있도록 하는 방법을 가르쳐야 한다. 예를 들면 상대성이론을 주제로 미술이나 문학 작품을 쓰는 연습, 예술에서의 미니멀리즘과 현대 양자역학 사이의 유비추리를 통해 새로운 특징들을 추정하는 등의 연습이 가능하다고 여겨진다.

셋째, 오늘날의 융복합교육이 추구하는 현실적인 요구에 부응하기 위해서는 실생활과 관련된 문제 해결로부터 출발되어야 한다. 근대에서의 발견 역시 개인의 호기심과 관심, 경험으로부터 출발하였으며 이는 오늘날의 융복합교육도 마찬가지이다. 과거의 근대 과학자들 역시 체계화된 교육과정 보다는 개인의 관심에 기반한 자기주도적이고 비형식적인 학습에 의존했던 것을 주목해야 한다. 과학교육에서도 기존에 이루어져 오던 문제 해결 학습, 자유 탐구, 프로젝트 기반 학습 등과 연계해 학생들이 다양한 분야의 실천 경험을 쌓도록 도와야 한다.

넷째, 융복합교육의 가치를 달성하기 위해서는 개인의 역량 강화에 만 초점을 두지 말고 집단 또는 공동체로서 시너지 효과를 내도록 새로운 방향 설정이 필요하다. Wenger가 제시한 실천 공동체의 관점에서는 학습과 지식 역시 공동체의 활동이며, 유산에 해당한다 (Wenger, 1998). 구성주의적 관점에서도 과학 지식은 과학자 공동체에서 구성되고 합의된, 가치가 부여된, 증거를 가진 믿음이라고 볼 수 있다. 현재 이루어지고 있는 다양한 융합인재교육 프로그램들이 대체로 조별이나 모둠 활동에 기초하고 있으나, 학습성과나 목표는 여전히 개인을 중심으로 하고 있다. 따라서 집단으로서의 성과를 평가하고 성취 수준을 제시할 필요가 있다 (Lee & Kim, 2012). 기존의 여러 교육 프로그램들은 통합이나 융합을 강조하면서도 융합이나 통합을 통해 무엇을 달성할 수 있는지 참고할 만한 예나 성과, 성취 수준을 제시하지 않고 있다. 즉, 예술과 과학의 통합에서 그리기 활동이 있다고 해서 융복합으로 볼 수 없을 것이다. 예술과 과학의 통합이 추구하는 교육 목표는 근대 시대에 이루어진 “빌려오기”가 그 출발점이 될 수 있다. 과학에서의 방법이나 아이디어를 어떻게 예술에 접목시킬 수 있는지 살펴보는 것으로부터, 과학적 사고나 철학을 재해석해 표현하는 것, 궁극적으로는 과학과 예술의 접목을 통해 새로운 양식이나 예술 장르를 창조하는 것에 이른다. 그리고 개인을 중심으로 한 평가가 아닌, 협력을 통해 생산해 낸 과제물이나 포트폴리오를 중심으로 모둠 또는 학급 공동체의 창의성을 평가할 필요가 있다.

이러한 집단적이고 공동체적인 융복합교육이 가능하려면 이를 위한 교사 교육이 선행되어야 한다. 융복합교육에서 교사가 겪는 어려움 중 하나는 충분한 교수 자료의 부족과 교사의 전문성 부족이다(Ahn & Kwon, 2012; Han & Lee, 2012). 오늘날 융복합교육을 통해 학생들이 모든 분야에서의 전문성을 획득할 수 없듯이 교사 역시 모든 분야에서 전문가가 될 수 없다. 다만, 학생들과 마찬가지로 다른 교과 교사와의 협력을 통해 수업에 참여할 필요가 있다. 학습 역시 개별적인 성격

이 아니듯, 교수 활동 역시 한 개인 교사의 역량이나 활동이 아닌 집단적 전문성의 형태를 갖추어야 한다. 따라서 융복합교육을 위해서는 각 학교에 속한 교사 공동체를 중심으로 협력이 이루어질 수 있도록 해야 한다. 나아가 더 이상 교육과정의 목표나 활동, 교수 방법이 개별 교과별로 기술되는 것 보다는 통합적 관점에서 이루어질 수 있도록 해야 한다. 포스트모더니즘의 관점에서 본다면 융복합교육의 산물은 학생들에 의해서만 이루어지는 것도 아니며, 교사와 학생의 일련의 삶을 통해 나타나는 재구성된 담론과도 같다.

국문요약

통섭 또는 융복합은 오늘날 매우 많은 관심을 받고 있다. 이에 본 연구에서는 과학과 예술의 통합을 시도한 근대 과학자와 예술가들의 발견 과정을 중심으로 융복합의 특징을 살펴보고, 근대의 사회철학적 배경을 고려함으로써 오늘날 과학교육이 융복합교육으로서 필요한 과제와 방향에 대해 논의하고자 한다. Netwon, Kepler, Galileo 등의 근대 과학자들은 예술의 사실적 묘사와 같은 방법을 통해 과학 지식을 표현하고 추론하는 데 활용하였으며, 예술과 과학의 규칙과 대응 관계를 통해 새로운 이론을 주장하고자 하였다. 예술가들 역시 과학을 통해 보다 사실적인 현상의 묘사를 힘썼으며, 특히 선원근법을 중심으로 한 해부학과 광학에 주로 의존하였다. 또한 과학자들과 예술가들 모두 유비 추리를 통한 일종의 “빌려오기”를 통한 융복합을 시도하였다. 이는 시기적으로 신플라톤주의의 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다. 당시의 과학자들은 상황이나 장소에 대한 구분 없이 적용되는 보편타당한 법칙과 방법을 추구하였으며, 예술과의 융합을 통해 과학 지식을 예술에 접목시키기도 하고 예술의 유용한 도구를 과학적 발견에 활용하기도 하였다. 따라서 오늘날 융복합교육으로서의 과학교육은 학생들에게 보다 전체적인 관점에서 바라볼 수 있도록 해야 하며, 과학과 예술 간의 통합을 통한 아이디어 창출을 목표로 과학과 예술 간의 상호 보완적인 관계를 중심으로 초학문적 시도를 장려해야 한다. 또한, 협동학습의 조직 및 관련되는 평가 기준의 마련을 통해 집단적 창의성을 증진시키고 일상 맥락에서의 문제 해결을 통한 경험을 강조해야 할 것이다.

주제어 : 융복합교육, 과학과 미술, 과학사, 융합, 통섭

References

- Ahn, J., & Kwon, N. (2012). The analysis on domestic research trends for convergence and integrated science education. Journal of Korean Association for Science Education, 32(2), 265-278.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1989). Science for all Americans: Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology. Washington, DC: AAAS.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). Benchmarks for science literacy: a project 2061 report. New York: Oxford University Press.
- Assier, P. (2014). Laser light art. Retrieved from <http://www.thewestrologist.com/tag/alberti/>
- Aston, P., Martin, E., Bassler, M., & Toman, R. (2000). Neoclassicism and romanticism: architecture, sculpture, painting, drawings, 1750-1848. Cologne: Könemann.

- Baigrie, B. S. (1996). Picturing knowledge: historical and philosophical problems concerning the use of art in science. Toronto: University of Toronto Press.
- Baigrie, B. S. (2007). Electricity and magnetism: a historical perspective. London: Greenwood Press.
- Baigrie, B. S. (Ed.). (2002). History of modern science and mathematics. New York: Charles Scribner's Sons.
- Bang, D., Park, E., Yoon, H., Kim, J., Lee, Y., Park, J., . . . Lee, H. (2013). The design of curricular framework for integrated science education based on big ideas. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(5), 1041-1054.
- Brooks, M. (2009). Drawing, visualization and young children's exploration of big ideas. *International Journal of Science Education*, 31(3), 319-341.
- Butts, R. E. (1968). William Whewell's theory of scientific method. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Copleston, F. C. (1952). Medieval philosophy. London: Methuen.
- Crombie, A. C. (1996). Science, art, and nature in medieval and modern thought. London, U.K.: Hambledon Press.
- Curriculum Standing Committee of National Education Professional Associations (CSCNEPA). (2007). Developing a 21st century school curriculum for all Australian students. Retrieved from http://www.acsa.edu.au/pages/images/CSCNEPA_paper_June087.pdf
- Cushing, J. T. (1998). Philosophical concepts in physics: the historical relation between philosophy and scientific theories. New York: Cambridge University Press.
- Drake, S. M., & Burns, R. C. (2004). Integrated curriculum. VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Eknoyan, G. (2000). Michelangelo: art, anatomy, and the kidney. *Kidney International*, 57, 1190-1201.
- Ferguson, G. (1954). Signs and symbols in Christian art. London, U.K.: Oxford University Press.
- Ferguson, K. (2013). Tycho and Kepler: the unlikely partnership that forever changed our understanding of the heavens: Transworld.
- Fogarty, R. (2009). How to integrate the curricula. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Galilei, G., & Helden, A. v. (2000). Sidereus nuncius. Palo Alto, CA: Octavo.
- Galili, I., & Zinn, B. (2007). Physics and art - a cultural symbiosis in physics education. *Science & Education*, 16, 441-460.
- Glick, T. F., Livesey, S. J., & Wallis, F. (Eds.). (2005). Medieval science, technology and medicine: an encyclopedia. New York: Routledge.
- Gombrich, E. H. (2000). Art and illusion: a study in the psychology of pictorial representation. Princeton: Princeton University.
- Gombrich, E. H. (2006). The story of art. New York: Phaidon Press.
- Gribbin, J. (2002). Science: a history, 1543-2001. New York: Allen Lane.
- Han, H., & Lee, H. (2012). A study on the teachers' perceptions and needs of STEAM education. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12(3), 573-603.
- Harman, P. M. (1980). Energy, force and matter. New York: Cambridge University Press.
- Heilbron, J. L. (1999). Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early modern physics. Mineola, NY: Dover Publications.
- Hesse, M. B. (1962). Force and field: the concept of action at a distance in the history of physics. *Philosophy of Science*, 29(4), 434-435.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Huff, T. E. (2003). The rise of early modern science: Islam, China and the West. New York: Cambridge University Press.
- Jho, H. (2014). Implications of the relationship between science and art in the twentieth century for science education. *New Physics*: Sae Mulli, 64, 550-559.
- Kang, T. (1996). Art, truth, science. Seoul: Jaewon.
- Kepler, J. (1619). Harmonices mundi libri V. Original from the Bavarian State Library.
- Kim, H. (2012). A study on relation and importance of art education in STEAM education. *Studies in Basic Design & Art*, 13(5), 105-113.
- Kim, W. (2012). Building conceptual framework to bring up talents capable of creative fusion: from the perspective of fusion between science and technology and art. *The Journal of the Korean Society for the Gifted and Talented*, 11(1), 97-119.
- Kim, W.-D. (1997). Modernism and postmodernism. Seoul: Hyunamsa.
- 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.
- Kim, Y., Park, S., & Song, S. (2013). History of science. Seoul: Jeonpa-Gwahaksa.
- 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, K.-J., & Kim, K.-J. (2012). Exploring the meaning and practicability of Korea STEAM education. *The Journal of Elementary Education*, 25(3), 55-81.
- Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big ideas: a review of astronomy education research 1974-2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771-1799.
- Lloyd, G. E. R. (2012). Early greek science: Thales to Aristotle. New York: Random House.
- Mahon, B. (2003). The man who changed everything. Chichester: Wiley.
- Martin, C. F. J. (1996). An introduction to medieval philosophy. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Maxwell, J. C. (1881). A treatise on electricity and magnetism. Oxford, U. K.: Clarendon Press.
- Meshberger, F. L. (1990). An interpretation of Michelangelo's creation of Adam based on neuroanatomy. *The Journal of the American Medical Association*, 264(14), 1837-1841.
- Miller, A. I. (1996). Insights of genius: imagery and creativity in science and art. New York: Copernicus.
- Ministry of Education. (2013). Science syllabus primary 2014. Singapore, Singapore: Curriculum Planning & Development Division.
- Ministry of Education Science and Technology(MEST). (2011). National Science Curriculum. Seoul, Korea: MEST.
- Na, S., & Kwon, N. (2014). Exploring domestic and international elementary school convergence science education program: Korea, the U.S., and the U. K. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(2), 231-241.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Neressian, N. J. (1984). Aether/or: the creation of scientific concepts. *Studies in History and Philosophy of Science*, 15(3), 175-212.
- New Zealand Ministry of Education. (2007). The New Zealand curriculum. New Zealand: Ministry of Education.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2001). Definition and selection of competencies: theoretical and conceptual foundations (DeSeCo). Retrieved from <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/41529556.pdf>
- Park, J.-H., & Lee, J.-H. (2013). A systematic review of the studies of integrative education. *Asian Journal of Education*, 14(1), 97-135.
- Parkinson, G. (2008). Surrealism, art, and modern science: relativity, quantum mechanics, epistemology. London, U.K.: Yale University Press.
- Pedretti, C. (2004). Leonardo: art and science. Cobham, U.K.: TAJ Books.
- Petrie, H. G. (1992). Interdisciplinary education: are we faced with insurmountable opportunities? *Review of Research in Education*, 18, 299-333.
- Princeton University. (1996). The partnership of art and science: the moon of Cigoli and Galileo. Retrieved from <http://www.princeton.edu/~freshman/science/galileo/galileo.html>
- Ro, S.-W., & An, D.-S. (2012). A study on direction of development in STEAM education. *The Journal of Education Research*, 10(3), 75-96.
- Ross, W. D. (1953). Plato's theory of ideas. Oxford: Clarendon Press.
- Ross, W. D. (1960). Aristotle: a complete exposition of his works & thought.

- New York: Meridian Books.
- Shirley, J. W., & Hoeniger, F. D.(Eds.). (1985). *Science and the arts in the Renaissance*. Washington, D.C.: Folger Shakespeare Library.
- Shlain, L. (1993). Art and physics: parallel visions in space, time, and light. New York: Quill/W. Morrow.
- Solomon, J., & Aikenhead, G. S. (Eds.). (1994). *STS education: international perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.
- Son, D. H. (2008). Demands of convergent education & teaching philosophy at universities. *Philosophical studies*, 83, 231-261.
- Son, Y.-A., Pottenger III, F. M., King, A., Young, D. B., & Choi, D.-H. (2001). Theory and practice of curriculum design for integrated science education. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 21(1), 231-254.
- State University of New York (SUNY). (1993). Albrecht Dürer: artist drawing a nude with perspective device. Retrieved from https://www.oneonta.edu/faculty/farberas/arth/arth200/durer_artistdrawingnude.html
- Strosberg, E. (2001). *Art and science*. New York: Abbeville Press.
- Suh, Y.-S. (2012). Philosophical underpinnings and theoretical foundations of convergent education. *Journal of the New Korean Philosophical Association*, 67, 145-163.
- Suk, I., & Tamargo, R. J. (2010). Concealed neuroanatomy in Michelangelo's separation of light from darkness in the Sistine chapel. *Neurosurgery*, 66(5), 851-861.
- Trifogli, C. (2000). Oxford physics in the thirteenth century: motion, infinity, place and time. Leiden: Brill.
- Turner, H. (1996). Religion: impediment or saviour of science? *Science & Education*, 5(2), 155-164.
- Vitz, P. C., & Glimcher, A. B. (1984). *Modern art and modern science: the parallel analysis of vision*. New York: Praeger.
- Voelkel, J. R. (2006). *Johannes Kepler and the new astronomy* (Y. Park, Trans.). Seoul: Bada.
- Weisberg, R. W. (2006). *Creativity: understanding innovation in problem solving, science, invention, and the arts*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: learning, meaning and identity*. New York: Cambridge University Press.
- Wilson, E. O. (2007). *Consilience: the unity of knowledge* (J. Choi and D. Jang, Trans.). Seoul: Science Books.
- Wineburg, S. S., & Grossman, P. L. (Eds.). (2000). *Interdisciplinary curriculum: challenges to implementation*. New York: Teachers College Press.
- Woo, J.-H., & Yoo, M.-H. (2013). Analysis of the cases in elementary STEAM programs' convergence and integration type for the gifted. *Journal of Science Education for the Gifted*, 5(2), 82-95.
- Yakman, G. (2007). STEAM education: an overview of creating a model of integrative education. Paper presented at the ITEEA annual conference.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: a research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377.