

Implications of the Relationship between Science and Art in the Twentieth Century for Science Education

Hunkoog JHO*

Center of General Education, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

(Received 6 March 2014 : revised 5 April 2014 : accepted 17 April 2014)

This study aims to discuss the shared background between the theory of relativity in physics and surrealism in art and to elucidate the scientific features presented in paintings from the twentieth century. Regarding historical background, both physics and art were influenced by modernism which denies absolute truth for many reasons: high interest in psychoanalysis, socio-economic inequity and contempt of life. Art rejected perspectives about and concentrated on expression of given phenomena (cubism and surrealism), and science reached the conclusion that time is inseparable from space and that every motion or event is relative (theory of relativity). Many artists were interested in the theory of relativity and tried to apply scientific theories in their paintings through direct and/or indirect interactions with scientists. Paintings by surrealists and cubists showed the relativity of simultaneity, time dilation, length contraction and curvature of space-time. The cases shown in this study will be used to discuss pedagogical ways of teaching physics with art.

PACS numbers: 01.40.Fk

Keywords: Physics and art, Theory of relativity, Surrealism, Cubism

20세기 상대성이론과 미술의 관계의 논의를 통한 과학교육에 대한 시사점

조헌국*

단국대학교 교양기초교육원, 천안 330-714

(2014년 3월 6일 받음, 2014년 4월 5일 수정본 받음, 2014년 4월 17일 게재 확정)

본 연구는 20세기 상대성이론의 탄생과 초현실주의 미술의 탄생 배경을 살펴보고, 당시 미술 작품을 상대성이론의 관점에서 분석하였다. 20세기의 물리학과 미술은 모두 객관적 실체에 대한 부정을 주장하는 모더니즘의 철학적 흐름 하에 놓여 있었으며, 정신분석학의 대두와 산업 혁명과 제국주의에 의한 사회 경제적 불평등, 인간 소외 등의 공통적인 배경에 놓여 있었다. 이에 미술은 선 원근법과 공간의 절대성을 거부하고 이를 새로운 관점에서 분석하고 표현하려는 입체파와 초현실주의로 나아갔으며, 물리학은 절대적이고 독립적인 시간과 공간 관계를 넘어 상대적이고 얽혀 있는 시공간의 개념을 제안하였다. 또한 미술의 여러 화가들은 상대성이론에 관심을 가졌으며 직·간접적인 교류와 정보 습득을 통해 이를 미술에서의 표현으로 소화하고자 하였다. 20세기 화가들이 그린 미술작품을 통해 동시성의 상대성, 시간 지연효과, 길이 수축효과, 중력렌즈 효과 등을 살펴볼 수 있다. 이러한 사례를 통해 과학교육에서의 미술 활용 방안에 대해 논의할 것이다.

PACS numbers: 01.40.Fk

Keywords: 물리학과 미술, 상대성이론, 초현실주의, 입체주의



I. 서론

과학에서 시각적 자료와 미술은 매우 중요한 역할을 한다. 대부분의 교과서와 보고서, 논문, 서적 등에서 삽화, 사진, 그림, 표 등 시각화된 자료를 사용하고 있다. 이러한 시각적 자료의 활용은 물리학이 다루는 비가시적, 추상적 개념을 보여줌으로써 개념 이해와 교수 활동에 도움이 될 뿐만 아니라, 과학자들이 이론을 정교화하며 아이디어를 표현하는 방법으로써도 중요하게 활용된다 [1-5]. 예를 들면 도선에서의 전류의 작용을 설명하기 위해 관을 따라 흐르는 물의 그림을 활용하기도 하며, 음향학에서 파장에 따른 독특한 무늬를 보여줌으로써 물리학의 미적 가치를 드러내기도 한다. 또한 자신의 이론을 정교화하기 위해 Descartes는 그의 저서인 <principles>에서 천체의 운동을 설명하기 위한 수단으로 소용돌이 모형의 도식을 제시하고 있는데, 천체의 원운동을 계층화된 소용돌이와의 힘의 합력과 평형으로 설명하고자 하였다 [6]. Maxwell은 전기와 자기의 통합을 수학적으로 이끌어냈을 뿐만 아니라 이를 효과적으로 보여주는 모형으로써 작은 크기의 원형 바퀴에 둘러싸인 육각형 모양의 에테르 소용돌이를 통해 직선 도선에 흐르는 전류에 의해 자기장이 형성되는 것을 보여주고자 하였다 [7]. 이 외에도 Da Vinci를 포함한 여러 르네상스 시대의 화가들의 그림은 인체를 해부하고 정밀하게 묘사함으로써 그 구조를 파악하는 데에 기여하였다 [8,9].

미술 역시 과학의 직·간접적인 영향을 받고 있다. 고대에서 중세를 거쳐 근대로 나아갈수록 회화는 좀 더 강렬하고 다양한 색채를 활용하게 되는데 이러한 색채의 활용의 배경에는 안료를 제조할 수 있는 화학, 빛에 대한 이해를 도운 광학의 발전과도 밀접하게 연결되어 있다 [10]. 예를 들면, 프레스코나 템포라의 기법을 쓰는 그림에서 주로 쓰는 흰색과 노란색의 안료는 각각 납과 황을 포함한다. 이 둘을 섞게 되면 빛의 색상만 고려한다면 노란색의 명도가 높아지지만 실제로는 탁한 색깔이 나타나는데 이는 각각의 안료 속에 포함된 황과 납이 반응해 검은색의 앙금인 황화납(PbS)가 발생하기 때문이다. 이를 해결하기 위해 유화가 등장했으며, 염색을 통한 새로운 기술의 등장으로 다양한 색상이 만들어지고 표준화되었다 [11]. 또한 르네상스 시기의 화가들은 카메라 옵스큐라라고 부르는 장비를 통해 맺히는 상을 보고 따라 그리거나 거울을 통해 비례를 확인함으로써 보다 정확한 원근을 묘사할 수 있었다 [12]. 오늘날에는 과학 기술을 예술의 여러 표현 수단으로 직접 활용하기도 하는데, 첨단 광학기술을 이용한 레이저 아트나 나노기술을 활용한 나노스케일 아트가 등장하고 있다. 또한 X-선

등을 통해 미술 작품의 스케치 등을 알아내는 비파괴 검사나 안료에 포함된 방사능 물질을 분석해 얻어내는 위작에 대한 판정, 작품의 연대 측정 등 다양하게 활용된다 [12,13].

이와 같은 과학과 미술의 호혜적 관계에 따라 오늘날 과학교육에서도 미술의 필요성에 주목하고 있다. 특히, 미술이 가지는 창의적이고 직관적인 접근 및 감성의 정의적 영역이 과학 학습 및 탐구에서 기여할 것이라고 전제한다 [14]. 오늘날의 과학의 본성의 관점에서는 과학적 발견과 업적을 위해서는 단지 정밀한 실험이나 측정, 논리적 추론 능력 외에도 상상력과 창의력을 요한다. 이러한 능력들은 주로 예술가들의 작품 활동에서도 강조되는 것으로 예술적 활동을 통해 상상력과 창의성을 기르며, 결국에는 과학적 탐구에도 도움이 된다는 것이다. 또한 예술적 창의성과 과학적 창의성에는 여러 공통점이 있다는 점을 드러내기도 한다. Weisberg는 DNA의 이중 나선 구조의 발견 과정과 Picasso의 게르니카의 탄생 과정에 대해 비교하면서 과학은 발견을, 예술은 창조의 과정처럼 보이지만 실제 발견과 창조의 경계가 모호하다고 주장한다. DNA 이중 나선 구조의 창안이 Watson과 Crick이 아닌 다른 사람에게 의해서도 가능한 단지 먼저 “발견”한 것이었다고 한다면, Picasso의 입체적 화풍 역시 Cezanne의 영향을 받은 것으로 다른 사람에게 의해 발견될 수 있다고 볼 수 있다 [15]. 또한, 이중 나선 구조에 대한 생각 역시 주어진 자료에 대한 해석을 통해 나타나는 것으로, 미술 역시 해석의 문제에 초점이 맞춰져 있다. 게다가 과학적 발견을 위해서는 관련되는 여러 기술과 지식을 습득해야 가능하듯이, 미술의 창의성 역시 한번에 이루어지는 것이 아닌 수 년 또는 수십 년간의 훈련과 학습을 통해 나타나는 것이기 때문이다.

특히 오늘날에는 다양한 사회 요구와 문제 해결을 위해서는 과학기술 외에도 예술, 인문학 등 다양한 분야의 지식을 통합하고 해석할 수 있는 인재양성의 중요성이 강조되고 있다. 특히 2009 개정 교육과정에서는 융합 인재교육을 중요한 교육의 목표 중 하나로 내세우고 있는데 [16] 이는 교과 중심의 접근 방식에 한계가 드러나기 때문이다. “즉, 오늘날 지식지식이 끊임없이 축적되고 근본적으로 변화한다는 점과, 학습자의 세상에 대한 전체적 인식과 인위적 내용의 분할 간의 불일치성, 그리고 학생의 참여 결핍 및 소외 발생이라는 문제” 때문이다 [17]. 단일 학문이나 전공 만으로는 오늘날 새롭게 발생하는 다양한 문제를 해결하는 데에는 한계가 있으며, 현실사회의 실제적 문제를 해결하기 위한 욕구와 자극을 만족시키기 위해서는 융복합교육이 필연적이라는 점이다. 이에 최근에는 융합인재교육 내에서 과학, 기술,

공학, 수학 외에도 예술을 포함시켜 예술적 감성과 창의적 설계, 실제적인 상황에서의 문제 인식을 강조하고 있다 [18]. 특히 미술이나 기술, 공학교육에서는 과학과의 통합을 통해 다양한 활동을 개발하고 있으며, 이를 통한 과학적 소양 외에도 기술이나 공학적 소양 함양, 미술에서의 공감각 활용을 기대하고 있다 [14,19-21]. 뇌과학에 기반한 미술교육이나 소리의 시각화를 통한 미술을 시도하는 것들이 그 예가 된다.

과학과 미술의 관계는 과학의 본성의 측면에서도 중요하게 고려될 필요가 있다. 과학과 미술 모두 사회문화와 영향을 주고 받는데 이는 과학의 본성의 특징 중 하나 (socio-cultural embeddedness) 에 해당한다 [22]. 과학 지식 및 과학적 발견에는 개인 또는 사회가 속한 가치관이나 사고 방식 등에 영향을 받기도 하고 주기도 한다. 미술도 하나의 사회가 가지는 가치나 양식에 해당한다고 하면 과학과 미술 역시 영향을 주고 받는다고 볼 수 있다. 예를 들면, 신대륙 발견을 통한 부의 창출, 그리스 고전에 대한 재조명 등을 통해 르네상스의 시기가 등장하였고 이에 자연스럽게 사실주의 화풍의 미술이 나타났다. 과학 역시 과학자들에 대한 귀족 가문의 지원과 신플라톤주의의 영향을 받아 비약적인 발전 (과학 혁명) 을 이루게 되었다 [23]. 또한 르네상스 시기의 과학기술의 발전은 새로운 안료의 활용, 선원근법의 개선으로 이어졌고 미술 역시 인체의 정밀한 묘사를 통한 해부학의 발전에 기여할 수 있었다. 즉, 과학과 미술의 관계를 통해 공학교육에서 과학과 사회의 관련성을 이해할 수 있다. 나아가, 여러 미술에서의 사례를 통해 관련되는 과학 개념을 탐구하고 이해하는 데에도 도움이 된다 [24]. 이에 본 연구는 과학과 미술의 관계와 배경을 통해서 양자가 가지는 공통점을 조명하고, 이를 구체적인 작품을 통해 예시함으로써 공학교육에서 미술을 어떻게 활용할 수 있는지 제시하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로 현대 물리학의 핵심이라 할 수 있는 상대성이론과 현대 미술의 탄생 과정을 살펴봄으로써 과학과 미술의 관련성에 대해 논의하며, 상대성이론의 생각이 포함되어 있거나 상대성이론으로 해석될 수 있는 여러 작품들을 소개하고 이를 통해 공학교육에서 상대성이론과 같은 현대 물리학의 학습에서 미술을 어떻게 활용할 수 있는지 제안하고자 한다.

II. 19-20세기의 역사적 배경

20세기에 일어난 상대성이론과 입체주의, 표현주의와 같은 새로운 미술 사조의 등장을 이해하기 위해서는 근

대 이후의 역사적 흐름을 이해할 필요가 있다. 중세의 종말을 알린 계몽주의는 인간의 활동 (경험과 이성)을 통한 존재론적, 인식론적 실재에 대한 발견과 향상을 추구하였고 이는 14~16세기 문화예술 영역에서의 부흥 운동 (르네상스)와 16~17세기의 과학적 발견에 대한 비약적 증가 (과학혁명)으로 이어졌다. 특히, Comte가 주장한 실증주의는 이전까지 중요하게 고려해 온 신학적 사고와 형이상학적 사고보다 검증 가능하며 관찰 가능한 것을 다루는 과학적 사고를 우위에 둠으로써 과학에 대한 지지를 아끼지 않았다 [25]. 나아가 18세기 이후 나타난 산업혁명으로 대량 생산이 가능해지면서 교통과 통신의 발달, 도시의 형성, 다양한 생활 필수품의 보급을 가져왔다. 미술에서도 재현을 목적으로 하는 사실주의가 18세기까지 지속되었으며, 정밀한 묘사를 위해 카메라 옵스큐라를 활용하기도 하였다. 19세기의 후기 인상주의 화가들은 빛의 중요성을 인식하고 빛에 의한 다양한 사물의 묘사에 집중하였다. 특히, 산업혁명을 통한 새로운 염료의 개발은 표준 색상표의 등장을 가져오게 되었다 [10]. 이를 통해 보다 다양한 색채를 표현할 수 있게 되었다.

그러나 산업혁명과 과학기술의 발달로 인한 폐해가 나타나면서 새로운 움직임이 나타나기 시작하였다. 공장을 통한 생산의 가속화는 수많은 사람들이 일자리를 찾아 도시로 모여들게 했고, 이로 인해 도시에서의 인구 밀집과 환경 문제, 빈부 격차 문제 등을 낳게 되었다. 또한 강대국에 의한 침략을 옹호하는 제국주의에 대해 비판적 시각을 가지게 되었으며, 세계 대전 발발로 인한 대량 학살, 생명 경시의 문제가 지적되면서 절대적이고 보편적 질서에 대해 거부하는 움직임들이 나타나기 시작하였다. 이러한 움직임은 보편적이 절대적인 진리와 질서를 부정하는 흐름으로 이어졌으며, 인간을 억압하고 삶을 결정하는 사회 구조에 관심을 가지는 모더니즘으로 이어졌다 [26].

계몽주의에서 모더니즘으로의 큰 전환 안에는 물리학과 미술 역시 포함되어 있다. 물리학의 경우, Newton 이래 수백 년 동안 공교한 지위를 지켜 온 고전역학은 Poincare가 상대성 이론의 원리를 주창하고, Mach, Lorentz 등이 기존의 공간에 대한 재개념화를 시도하면서 절대적이고 독립적인 시간과 공간의 체계가 무너지고, 시간과 공간의 얽힘 상태를 제안하는 상대성이론으로 대체되었다. 일반 상대성이론의 발표는 이전까지 독립적으로 여겨오던 물리량인 질량, 에너지, 시간, 공간을 통합적으로 이해하게 되었다 [27]. 미술에서는 선원근법에 대해 절대적으로 신뢰하고 이를 수행하려던 사실주의 (realism)의 화풍이 18세기 절정에 이른 뒤, 빛에

대한 감각적 인식에 초점을 둔 인상주의 화가들이 나타나면서 점차 소멸되었다. 빛의 각도와 시간에 따라 다르게 나타나는 물체를 묘사하거나 공간을 직선이 아닌 곡선 또는 색으로 표현하기 시작하면서 실재의 표현에 대한 절대성이 퇴색되었다 [28]. 사물이나 현상을 재현하는 데에 초점을 두었던 이전 시대의 미술과 달리, 감각되는 모습에 대한 표현에 보다 초점을 두는 표현주의 미술로 대체되었다. 이러한 변화는 절대적 가치에 대한 저항과 인간의 표현에 대한 관심이 이어지면서 나타난 것으로 특히 Freud의 정신분석학은 인간의 무의식에 대한 새로운 시각을 불러일으켰다. 미술에서는 기존의 아름다움, 표현에 대한 저항으로 반미술(다다이즘)이 나타났으며, 기존과 달리 기하학적인 입체로 모든 사물과 공간을 분해하는 입체주의와 인간의 무의식을 강조하는 초현실주의가 등장하게 되었다. 입체주의(cubism)는 입체를 의미하는 cube에서부터 온 용어으로써 자연계의 대상과 공간을 입체로 표현하고자 한 것을 말한다 [28]. 이러한 움직임에 앞장섰던 사람이 Picasso와 Braque이다. 초현실주의는 비평가 Apollinaire에 의해 붙여진 말로써 이성의 지배를 받지 않고 무의식 또는 상상, 꿈의 세계의 표현을 지향하는 미술을 말한다 [29].

동시대에 나타난 물리학과 미술의 새로운 사조들은 여러 공통점을 가지고 있는데, 절대적 가치에 대한 부정이고 대표적인 예이다. 과학에서는 절대 기준계가 부정되고 동시성의 상대성이 강조되면서 절대적 측정이 불가능함을 의미한다. 미술에서는 절대적인 미에 대해 부정하며 이상화된 실재의 재현이 목적이 아닌, 예술가의 감각과 표현이 목적으로 대두되었다. 서로 다른 학문 분야에서 유사한 움직임이 동시에 일어난 것은 단지 우연의 일치로만 보기 힘들다.

물리학과 미술에서의 유사한 관점에 대한 공유는 소수 이기는 하지만 물리학과 미술의 직·간접적인 교류를 통해 이루어졌음을 알 수 있다. 문리학자인 Valery는 20세기 당시의 물리학자들인 Curie, Bohr, de Broglie 등과 친분이 깊었으며 그들의 연구실을 참관하며 회의에 참석하여 아이디어를 교환하기도 하였다 [30]. Breton은 그의 스승인 Valery의 영향으로 상대성이론과 Eddington의 아프리카 일식 관측 사건 등을 접하며 이를 기반으로 문학 작품과 잡지에 기고하였다. 그는 특히 초현실주의 작품의 미술적 특징 중 하나인 오토마티즘(automatism)을 표현하고자 하였으며 Maxwell의 영향을 받아 <The magnetic field>라는 책을 출간하기도 하였다 [30,31]. 그와 그의 스승인 쓴 책은 예술계에 소개되었으며, 여러 예술가들이 이러한 생각들을 접할 수 있었다. 예를 들면 Picasso와 함께 한 여러 작가들은 비유클리드 기하학, 4차원, 시간

여행에 대해 논의하기도 하였으며 Einstein의 4차원 공간 개념은 그의 친구를 통해 소개되었다 [32]. 또한 Dali는 20세기 중반 핵물리학의 발전으로 인한 원자폭탄의 발명에 모티브를 얻어 그의 그림에서 양자역학에서의 환원적이고 분석적인 속성들로 대상을 해체하는 표현을 도입하였다 [33]. 또한 Kandinsky는 X-ray, 방사능, 질량-에너지 등가에 대해 깊은 관심을 가졌으며 Magritte의 감각 공간의 혼란스러움은 Einstein의 공간 개념으로도 해석되기도 한다 [34]. 당대 유명했던 상대성이론에 대한 정보는 다양한 경로를 통해 접할 수 있었으며, 그들의 작품에 대한 동기가 상대성이론에서 출발한 것은 아니었어도 충분히 참조할 수 있었음을 알 수 있다 [30,35-38]. 요컨대 상대성이론과 초현실주의는 객관적 실체에 대한 저항 운동이라는 공통점을 가지며, 이는 시대의 철학적 전환에서 출발한 것으로 생각해 볼 수 있다. 또한 물리학과 미술에서의 직·간접적인 교류는 이와 같은 움직임에 촉매 역할을 한 것으로 볼 수 있다. 과학과 미술의 관계에 대한 연관성은 여전히 합의되지 않는 부분이 있으나 일부 화가들의 경우, 과학에 대한 관심을 통해 그들의 미술에서의 아이디어를 발전시켰다 [39]. 적어도 과학과 미술이 같은 시대적 배경에서 서로 다른 방향으로 자란 줄기와 같이 나타났음을 추론할 수 있다.

III. 20세기 회화에서 나타나는 상대성이론의 이해

고전역학과 상대성이론의 차이점 중 하나는 동시성의 상대성이다. 어떤 두 사건이 하나의 기준계에서 동시에 일어났다고 하더라도 다른 기준계에서 동시에 일어나지 않은 것처럼 보일 수 있으며, 둘 중 어느 한 기준계의 관찰자만 옳다고 말할 수 없다. 결국 두 기준계의 관찰이 모두 옳은 것처럼 비취기 때문에 상대성이론에 대한 다양한 역설이 존재하게 된다. 이는 마치 하나의 공간에서 일어난 사건이 관찰자의 운동 상태에 따라 다르게 보임으로써 여러 개의 서로 다른 진실이 공존하는 것처럼 보이게 된다. 이를 그림으로 잘 보여주는 것이 Cezanne인 것 같다. Cezanne는 자신의 정물화에서 하나의 관점이 아닌 여러 개의 초점을 하나의 캔버스에 표현하려고 하였다 (Fig. 1 참조) [35,40]. 서로 다른 시점을 가진 관찰자의 모습들을 하나의 화폭에 담으면서 사물에 대한 표현을 어느 하나의 고정적 관점이 아닌 여러 관점의 관찰자에 의한 다양한 모습을 담은 것이라 할 수 있다. 특히 Cezanne와 같은 19세기의 인상주의 화가들은 공간과 운동에 대한 절대적인 해석을 부정하는 방향으로 나아갔

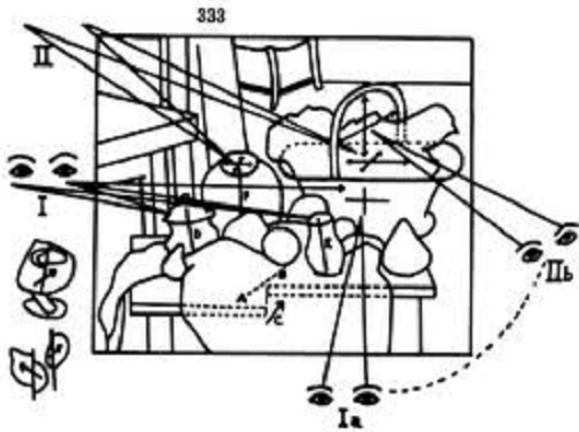


Fig. 1. (Color online) <Still life with fruit basket (1888)> by Cezanne and its interpretation by Lorán (1963).

는데 위나 아래의 고정적인 물체의 배치에 대해 의심하고, 기초적인 입체나 기하학적 모양으로 나타내기 시작하였다.

이러한 움직임은 20세기 중요한 미술을 담당한 Picasso와 Braque로 이어졌다. 그들은 하나의 입체가 가지는 여러 공간적 측면을 하나로 묘사하고 있다. <아비뇽의 처녀들 (1907)>, <바이올린과 주전자 (1910)>를 보면 하나의 피사체가 가지는 여러 측면의 모습을 혼합해 보여주고 있다. 이는 공간을 단순한 형태의 입방체로 환원해 표현할 수 있다고 하는 신념에서 출발한 것이며, 주어진 사건에 대해 여러 면을 한 화면에 나타낸 것이다. 이는 연속적이고 불변한 공간에 대한 거부와 함께 물체에 대한 표현이 관점에 따라 달라질 수 있음을 보여주고 있다. 이는 미술에서의 동시성을 의미하는 것으로 물리학과 달리 서로 다른 두 개 이상의 형상을 조화시켜 한 화면에 표현하는 것을 말한다 [28,41]. 이러한 표현은 해석 원근법 (analytical perspective)라고 부르는 것으로,



Fig. 2. (Color online) <The girls of Avignon (1907)> by Picasso and <Violin and Pitcher (1910)> by Braque.

평면의 화면에 입체나 피사체의 가장 많은 면이 드러나 보이도록 하는 것을 말한다. 정지한 관찰자의 경우, 자신의 옆에 있는 사물을 바라보면 한 면만을 바라보게 되지만 빛의 속도만큼이나 충분히 빠른 관찰자에게는 사물의 옆면도 볼 수 있게 된다 (Fig. 5 참조). 마찬가지로 정지한 관찰자에게 관측되는 별빛의 각도가 움직이는 관찰자가 측정하는 별빛의 각도와 차이가 발생한다. 서로 다른 운동 상태와 눈높이를 가진 관찰자들이 자신이 본 하나의 사물을 모두 하나의 캔버스에 표현하게 될 때, 마치 뒤와 앞, 옆이 뒤엉켜 있는 Fig. 2의 아비뇽의 처녀와 같은 모습이 될 것이다.

동시성의 상대성의 문제를 다루는 경우, 종종 등장하는 예시는 서로 떨어진 광원에 의해 빛이 방사될 때 정지한 관찰자와 움직이는 관찰자는 각각 어떤 광원의 빛을 먼저 보게 될 것인가 하는 문제가 있다. 서로 다른 두 사건에 대해 로렌츠 변환을 이용한 수학적 접근도 가능하지만 실제 나타나는 현상을 그림으로 표현하거나, 이미 제시된 그림을 바탕으로 사건의 인과를 해석하는 기회를 가진다면 학생들이 보다 일상생활에 친숙하게 상대성이론을 이해할 수 있고, 또한 그림을 통해 동시성의 상대성을 탐구해 보는 기회를 가질 수 있을 것이다.

초현실주의 화가인 Dali와 Magritte는 마치 착시 효과를 가지는 듯한 그림을 통해 동시성의 모습을 보여주고 있다. Fig. 3에 나타나는 Dali의 <투명 인간 (1929~32)>을 살펴보면 화면 아래에는 여성의 형상을 하는 사람의 움직이는 흔적이 보이며 상단에는 자연물과 흡사해 보이는 한 남자가 보인다. 서로 다른 형상을 한 사물을 그려냄과 동시에 오브제의 경계를 모호하게 함으로써 초현실적인 모습을 보여주고 있다. 또한 아래 화면에의 여성은 마치 카메라에서 셔터를 열고 찍은 사진처럼 그 흔적이 나타나고 있는데, 공간 뿐만 아니라 서로 다른 시간에 따른 모습을 표현하고자 한 것으로 시공



Fig. 3. (Color online) <The invisible man (1929~32)> by Dali and <Carte Blanche (1965)> by Magritte.

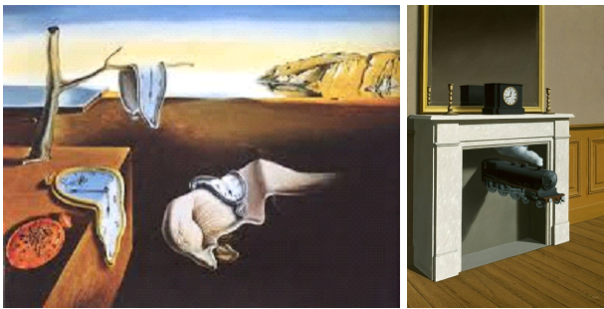


Fig. 4. (Color online) <The persistence of memory (1931)> by Dali and <Time transixed (1938)> by Magritte.

간의 얽힘과 Minkowski의 시공간 도표로 이해할 수 있다. 그리고 Magritte의 <백지 위임장 (1965)>에서도 유사한 모습이 나타난다.

나아가 특수 상대성이론이 직접 연상되는 그림들 역시 존재한다. Dali의 <기억의 지속 (1931)>을 살펴보면 황무지 같은 공간 안에 늘어진 시계를 볼 수 있다. 이는 시간과 공간을 하나의 캔버스에 병치 (juxtaposition)하며, 늘어진 시간을 공간 안에 표현함으로써 시간 지연 효과를 연상하게 한다 [30,35]. 또한 Magritte의 <고정된 시간 (1938)>은 마치 움직이는 기차가 벽난로로부터 튀어나오고 있는 것처럼 보이는데 이를 헛간-사다리 역설과 연관지을 수 있다. 정지한 관찰자 (기준계)의 입장에서 20 m의 사다리와 10 m의 헛간이 있다고 할 때, 사다리가 0.9 c의 일정한 속도로 직선으로 헛간을 통과한다고 할 때, $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \approx 2.29$ 가 된다. 특수 상대성이론에 따르면 길이수축이 일어나므로 정지한 헛간의 입장에서 사다리의 길이는 $L = \frac{L_0}{\gamma} = \frac{20}{2.29} \approx 8.73$ (m)이다. 따라서 헛간보다 짧아져 헛간 안에 완전히 들어가게 된다. 그러나 움직이는 사다리의 입장에서 보면 헛간이 사

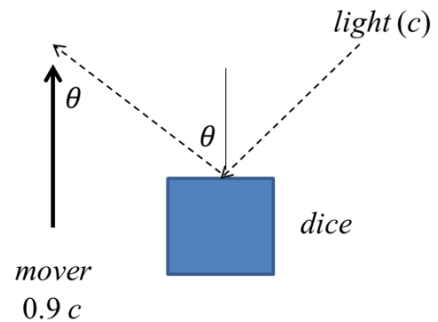
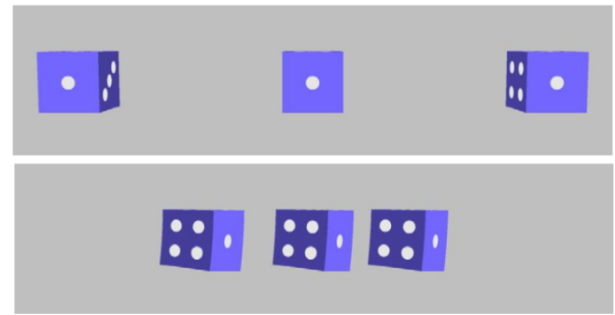


Fig. 5. (Color online) Three dice watched at rest (a) and at moving 90% of velocity (b) from right to left, and captured light coming with θ (c).

다리를 향해 0.9 c의 속도로 진행하고 있으므로 헛간의 길이 수축이 일어난다 ($L = 4.37$ (m)). 따라서 사다리는 헛간보다 길어져 튀어나와 보이게 된다.

이 외에도 일반 상대성이론의 중력렌즈 효과와 특수 상대성이론에서의 시각화 역시 두 화가의 다른 작품 속에서 발견할 수 있다. Magritte의 <거울공장 (1939)>이라는 작품을 보면 뒷통수에 얼굴이 겹쳐 보이는 한 신사를 그리고 있다. 이는 상대성이론의 관점에서 움직이는 관찰자에게 정지한 사람의 모습이 어떻게 나타날지 생각해 볼 수 있다. 정지한 세 개의 주사위가 나란히 놓여 있다고 가정하자. 정지한 관찰자가 주사위를 볼 경우, Fig. 5(a)와 같은 모습을 보게 된다. 그런데 나란한 주사위를 0.9 c의 속도로 등속 운동 관찰자에게는 정지할 때 볼 수 없던 주사위의 옆면을 보게 되며, 주사위 사이의 간격도 더 짧아 보일 것이다. 왜냐하면 빛의 속도는 항상 c로 일정하지만 여러 각도에서 반사되는 빛을 관찰자의 이동방향으로 정사영 (projection)하면 0.9 c보다 느릴 수 있다. 예를 들면 관찰자의 진행 방향과 θ 의 각도로 입사하는 빛의 경우, 관찰자의 운동 방향으로의 빛의 속도는 $c \sin \theta$ 이므로 관찰자가 충분히 빠르면 옆면이 아닌 뒷면에서 반사된 빛을 보게 된다 (Fig. 5(c) 참조). 즉, 어떤 특정한 물체를 지나는 순간 운동하는 관찰자는 바로 옆에 있는 사물로부터 반사된 빛을 보는 것이 아닌 이미 지나간 사물의 반사된 빛 또는 앞으로 마주하게 될 사물



Fig. 6. (Color online) Snapshot while at rest (a) and snapshot while moving down the road at 95% of the speed of light (b) [42].

로부터 반사된 빛을 보게 된다. 따라서 옆으로 돌아 선 사람을 매우 빠른 속도로 지나친다면 사람의 뒤와 옆을 모두 볼 수 있을 것이다.

이러한 회전하는 듯한 왜곡 (aberration) 외에도 휘어지거나 거리가 짧아지는 것을 예측할 수 있다. 움직이는 관찰자의 입장에서 보면 주사위가 반대방향으로 0.9 c의 속력으로 나아가는 것처럼 보이므로 길이 수축이 일어나 $L = L_0/\gamma = 0.44L_0$ ($\gamma \simeq 2.3$)이 되므로 정지했을 때보다 그 간격이 절반 이상 짧아 보인다. 따라서 Fig. 5(c)에 나타나듯 정지한 관찰자에 의한 그림보다 그 거리가 짧아 보인다. 그리고 빛의 속도에 가깝게 움직일수록 보이는 사물에 대한 왜곡이 더 심해지는데 (Fig. 6 참조), 이는 렌즈에 의한 왜곡과 함께 정지한 관찰자에 대한 빛의 입사각과 움직이는 관찰자에 대한 빛의 입사각이 다르기 때문에 나타난 것이기도 하다. 움직이는 관찰자의 진행 방향과 빛이 들어오는 각도인 입사각을 θ' 라고 하며, 정지한 관찰자에게 입사하는 각도를 θ 라고 하자. 그러면 $\cos\theta' = u'_x/c$ (u'_x : 진행 방향에 대한 움직이는 관찰자의 속도)가 된다. 상대론적 속도 합성에서 $u'_x = (u_x - v)/(1 - u_x v/c^2)$ 이므로 이를 대입하여 정리하면 $\cos\theta' = (\cos\theta + \beta)/(1 + \beta\cos\theta)$ 가 된다 ($\beta = v/c$). 이 식을 가지고 예를 들어 보면 운동 방향과 수직으로 입사하



Fig. 7. (Color online) <Agnostic symbol (1932)> by Dalí.

는 빛 ($\theta = 90^\circ$)에 대해 0.9 c의 속력으로 등속 직선 운동하는 경우, 그 때의 입사각은 $\cos\theta' = 0.9$ 이므로 약 25도의 각도를 이루는 것처럼 보인다. 따라서 정지했을 때보다 사물이 더 좁아 보이게 된다. 이에 Fig. 6(b)와 같이 거리가 휘어져 보일 것이다. 이와 같이 초현실주의의 작품을 상대성이론의 관점에서 풀이해 볼 수 있으며, 또는 상대론적 효과에 따른 실제 사물이 보이는 모습을 예측하고 그려 보게 함으로써 관련된 탐구가 가능할 수 있다고 생각한다. 이러한 효과는 실제 지구 공전에 의한 별빛의 광행차에서도 잘 나타나고 있다.

또한 Fig. 7에서 나타난 Dalí의 <불가지론적 상징 (1932)>를 보면 일반 상대성이론에서 말하는 중력 렌즈 효과를 관찰할 수 있다. 먼 곳에서부터 광선처럼 진행한 물체가 하나의 암석 주변에서 휘어져 나타나 보이는데 이는 질량을 가진 물체가 주변의 공간의 기하학적 특징에 영향을 주는 것을 형상화한 것이다. 이와 같이 다양한 초현실주의 및 입체파의 많은 미술 작품들을 상대성이론의 관점에서 이해할 수 있음을 알 수 있다. 이외에도 Dalí가 그린 <기억의 지속의 해체 (1952)>, <포르리가의 마돈나 (1949)>, <미립자의 마돈나 (1949)> 등은 핵물리학에서 아이디어를 가져온 것으로 사물 및 시공간까지 미립자로 분해해 표현하려는 핵의 신비주의를 잘 묘사하고 있다 [30,33]. 앞서 제시한 여러 화가들이 실제 전문적인 과학 지식을 보유하지 않았더라도 과학에 대한 관심과 이해를 통해 미술 작품의 표현에 활용한 것처럼 학생들 역시 상대성이론의 학습을 통해 글쓰기나 그림, 음악 등 다양한 표현 활동을 함으로써 새로운 영역에서의 창의성을 드러내는 데에 도움을 줄 수도 있을 것이다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 과학과 미술이 가지는 상호보완적 관계에 주목하여, 20세기 상대성이론이 탄생하는 과정과 미술 사조의 탄생 배경을 살펴보고, 당시 미술 작품의 분석을 통해 과학과 미술의 유사성을 설명하면서 과학교육에서의 활용 방안에 대해 논의하고자 하였다. 20세기의 과학과 미술은 모두 객관적 실체에 대한 부정을 주장하는 모더니즘의 철학적 흐름 하에 놓여 있었으며, 산업혁명과 제국주의, 세계 대전 등으로 인해 나타난 사회 경제적 불평등과 인간 소외 등의 문제에 직면해 있었다. 이에 대해 미술은 이전까지 진리처럼 여겨졌던 선원근법에 의한 절대적 공간 표현을 거부하고 공간을 분석하거나 무의식을 통한 표현을 강조하는 입체주의, 초현실주의로 나아가게 된다. 한편, 과학은 물리학은 절대적이고 독립적인 시간과 공간의 관계를 바탕으로 하는 세계관에서 벗어나고 상대적인 시공간의 개념인 상대성이론을 탄생시키게 되었다. 서로 다른 분야임에도 불구하고 과학과 미술의 각자의 영역에서 절대성을 부정하고 상대성을 강조하는 방향으로 나아갔다. 뿐만 아니라 미술의 여러 아이디어들은 과학의 아이디어를 포함하고 있는데, 20세기 여러 유명한 화가들은 과학에서의 진보된 아이디어를 직·간접적인 교류를 통해 듣게 되었으며, 이를 미술에 적용시켜 보고자 하였다.

20세기 미술 작품에서도 이러한 관점이 드러나는데 Picasso, Braque, Dali, Magritte 등 당시의 화가들이 그린 미술작품을 통해 동시성의 상대성, 시간 지연효과, 길이 수축효과, 중력렌즈 효과 등을 살펴볼 수 있다. 모든 미술 작품이 물리학에 기반하여 그 아이디어를 표현한 것으로 보기에 무리가 있지만 적어도 하나의 시대 안에 유사한 생각들이 물리학과 미술에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 일종의 시대정신 (Zeitgeist)으로 이해할 수 있으며, 과학기술에서의 혁신과 발전이 여러 사회 문화적 영향을 받음을 보여주는 사례로 볼 수 있다 [30, 35, 36]. 게다가 당시 대중들의 상대성이론에 대한 높은 관심에도 불구하고 이를 이해시킬 수 있는 적절한 방법을 제안하지 못했으나 미술에서 과학의 개념을 나름의 방식으로 표현하려고 했다는 점에서 큰 의의가 있다.

뿐만 아니라 당시의 여러 작품들은 상대성이론을 이해하고 관련 내용을 학습하는 데에 도움을 줄 수 있다. Magritte의 <고정된 시간 (1938)>, <거울 공장 (1939)>, Dali의 <기억의 지속 (1931)> 등 초현실주의의 작품에서는 상대성이론이 다루고 있는 역설이나 시간 지연, 길이 수축 등 관련 개념을 적용해 이해해 볼 수 있는 좋은

기회를 제공한다. 특히, 특수 상대성이론에 기반한 시각화는 상대성이론을 보다 실제 눈으로 보여주고 일상의 맥락에서 이해할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 또한 미술 작품을 통해 관련되는 상황을 가정하고 이를 예측해 보게 함으로써 상대성이론을 통한 탐구로도 활용할 수 있을 것이다.

이와 같은 20세기 물리학과 미술의 관계를 통해 과학 교육에서 미술을 어떻게 활용하고 바라보아야 할 지 시사점을 얻을 수 있는데 첫째, 미술이 과학에 대해 보다 친숙하게 접근하고 과학의 본성을 이해하는 데에 도움을 줄 수 있다. 상대성이론이나 양자역학 등 현대물리학이 어려운 이유 중 하나는 그 개념이 추상적이며, 일상생활에서 경험할 수 없고 눈으로 볼 수 없다는 데에 있다 [43, 44]. 동시대에 나타난 미술작품을 통해 상대성이론에 대해 보다 쉽게 접근할 수 있고, 과학과 미술의 관련된 스토리를 소개함으로써 과학의 본성을 이해하는 데에 도움을 줄 수 있을 것이다. 둘째, 미술 작품의 활용은 개념 이해와 탐구 활동에도 도움을 줄 수 있을 것이다. Galili & Zinn은 중세 시대의 Giotto의 작품에 나타난 성흔 (stigmatization)을 광학과 연결시켜 설명하고 이해할 수 있음을 제안하였다 [24]. 20세기 미술 작품을 제안함으로써 이를 통해 시공간의 특성을 이해하고 과학에서의 개념과 비교해 봄으로써 여러 학문 간의 차이를 통해 보다 명료하게 이해할 수 있을 것이다. 또한 여러 그림에 대한 내용을 바탕으로 상대성이론에서 나타난 시각에서의 왜곡을 설명하였듯이 작품과 관련되는 실제 상황에서 어떻게 보여질지 상상해 보거나 예측함으로써 개념을 학습하고 탐구할 수 있을 것이다. 실제 시각화를 통한 상대성이론의 학습은 여러 연구에서 효과적임을 이미 보이고 있다 [42, 43]. 셋째, 본 연구에서 나타나듯 물리를 전공하지 않는 학생들에게도 미술을 통해 상대성이론의 주요 개념을 소개할 수 있을 것이다. 상대성이론이나 양자역학은 복잡하고 이해하기 어려워 이를 배우는 학생들은 물리학과 직접적으로 관련된 일부 학생만 학습하고 있다. 비전공자를 위해서 가르치는 물리학은 그 개념적 이해와 수학적 풀이를 모두 이해하는 것보다는 주요 개념을 소개하고 이를 자신의 분야에서 변용하고 적용시켜 새로운 아이디어를 만들도록 하는 것이 적절하다고 생각이 든다. 본 연구에서 소개된 여러 화가들과 문학가들처럼 상대성이론이 모티브가 되어 음악이나 미술, 문학, 영화 등 다양한 분야에서 이를 가지고 흥미로운 활동을 가능케 할 수 있다고 생각한다. 본 연구는 20세기 초 중반의 미술사조와 상대성이론을 연결하여 이해하고자 한 시도으로써 보다 다양한 시대의 미술사조와 과학이 서로 어떻게 연결되어 있는지 살펴봄으로써 학생들의 물리 학습에 대한 흥미와 개념 이해 증진을 기대할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] B. S. Baigrie, *Picturing Knowledge: Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science* (University of Toronto Press, Toronto, 1996), Chap. 2.
- [2] A. I. Miller, *Imagery in Scientific Thought Creating 20th-century Physics* (Birkhauser, Boston, 1984), Chap. 4.
- [3] I. Galili, *Sci. & Educ.* **22**, 1911 (1938).
- [4] J. K. Gilbert, *Visualization in Science Education* (Springer, Dordrecht, 2006), Chap. 1.
- [5] D. F. Treagust and J. K. Gilbert, *Multiple Representations in Science Education* (Springer, Dordrecht, 2009), Chap. 3.
- [6] P. M. Harman, *Energy, Force and Matter* (Cambridge University Press, New York, 1980).
- [7] T. K. Simpson, *Figures of Thought: A Literary Appreciation of Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism* (Green Lion Press, Santa Fe, NM, 2005), pp. 13-16.
- [8] C. Pedretti, *Leonardo: Art and Science* (TAJ Books, Cobham, UK, 2004), pp. 16-28.
- [9] M. Lee and H. Hwang, *Art Educ. Res. Rev.* **26**, 165 (2012).
- [10] J. Gage, *Colour and Meaning, Trans. Park Sujin and Han Jaehyun* (Social Critique, Seoul, 2011), pp. 21-33.
- [11] G. Parkinson, *Surrealism, Art, and Modern Science: Relativity, Quantum Mechanics, Epistemology* (Yale University Press, London, 2008).
- [12] E. Strosberg, *Art and Science* (Abbeville Press, New York, 2001).
- [13] P. Gilbert and W. Haeberli, *Physics in the Arts* (Elsevier, Burlington, 2008).
- [14] H. Kim, *Stud. Basic Des. & Art* **13**, 105 (2012).
- [15] R. W. Weisberg, *Creativity: Understanding Innovation in Problem Solving, Science, Invention, and the Arts* (John Wiley & Sons, Hoboken, 2006), Chap. 1.
- [16] Ministry of Education Science and Technology, Report No. 2011-361, 2011.
- [17] J. Park and J. Lee, *Asian J. Educ.* **14**, 97 (2013).
- [18] Korea Foundation for Advancement of Science and Creativity, Report No. 2012-12.
- [19] H. Shin, *Art Educ. Res. Rev.* **18**, 53 (2004).
- [20] J. Kim, *J. Art Educ.* **32**, 125 (2012).
- [21] E. Lee, *J. Art Educ.* **33**, 287 (2012).
- [22] N. G. Lederman, F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell and R. S. Schwartz, *J. Res. Sci. Teach.* **39**, 497 (2002).
- [23] J. T. Cushing, *Philosophical Concepts in Physics: the Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories* (Cambridge University Press, New York, 1998).
- [24] I. Galili and B. Zinn, *Sci. & Educ.* **16**, 441 (2007).
- [25] P. Halfpenny, *Positivism and Sociology: Explaining Social Life* (Allen & Unwin, London, 1982).
- [26] H. Jho and J. Song, *J. Korean Asso. Res. Sci. Educ.* **30**, 533 (2010).
- [27] J. T. Cushing, *Philosophical Concepts in Physics: the Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories* (Cambridge University Press, New York, 1998).
- [28] E. H. Gombrich, *The Story of Art* (Phaidon Press, New York, 2006).
- [29] F. Bradley, *Surrealism* (Cambridge University Press, New York, 1997).
- [30] G. Parkinson, *Surrealism, Art, and Modern Science: Relativity, Quantum Mechanics, Epistemology* (Yale University Press, London, 2008).
- [31] G. Parkinson, *Sci. Cont.* **17**, 557 (2004).
- [32] A. I. Miller, *Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty that Causes Havoc* (Basic Books, New York, 2001), pp. 18-24.
- [33] F. Nicosia, *Dali: Revolution of Unconsciousness, Trans. Jeong Eunmi* (Maronie Books, Seoul, 2007), Chap. 5.
- [34] S. Gablik, *Magritte* (Thames & Hudson, London, 1985), pp. 118-122.
- [35] L. Shlain, *Art and Physics: Parallel Visions in Space, Time, and Light* (Quill/W. Morrow, New York, 1993).
- [36] P. C. Vitz and A. B. Glimcher, *Modern Art and Modern Science: the Parallel Analysis of Vision* (Praeger, New York, 1984).
- [37] J. Voss-Andreae, *Leonardo* **44**, 14 (2011).
- [38] E. H. Gombrich, *Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation* (Princeton University, Princeton, 2000).
- [39] T. Kang, H. Jeong, H. Min, S. Kim and J. Yoon *et al.*, *Art, truth, science* (Jaewon, Seoul, 1996), pp. 10-40.

- [40] E. Loran, *Cezanne's Composition : An Analysis of His Form with Diagrams and Photographs of His Motifs* (University of California Press, Berkeley, 1963).
- [41] J. S. Ryu and C. O. Oh, J. Korean Soc. Des. Sci. **61**, 117 (2005).
- [42] U. Kraus, Eur. J. Phys. **29**, 1 (2008).
- [43] H. Jho, New Phys.: Sae Mulli **64**, 281 (2014).
- [44] S. Im and J. Kim, New Phys.: Sae Mulli **64**, 56 (2014).