



‘과학의 지혜’에 대한 탐색적 연구 —지혜 지향적 과학교육을 향하여—

임인숙, 송진웅*
서울대학교

Exploring ‘Wisdom of Science’: Toward Wisdom-Oriented Science Education

Insook Lim, Jinwoong Song*
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 October 2018

Received in revised form

23 October 2018

26 October 2018

Accepted 5 November 2018

Keywords:

wisdom,
wisdom of science,
wisdom-oriented science
education

ABSTRACT

This study, from a critical view on knowledge-centered science education, aims to explore the wisdom that can be acquired from science. In other words, to find the categories and examples of “Wisdom of Science(WOS)” that can be shared in science classroom is the purpose of this study. For the data collection, twelve hours of physics classes of three high schools were observed, together with teacher interviews and student interviews. Collected data were analyzed qualitatively based on the operational definition of WOS. In this study, WOS was defined in a limited sense to mean ‘wise action such as behaviors, attitudes, methods, and thoughts that can be found in the process of formation and application of scientific knowledge’. The results of this study, i.e. three categories and six examples of WOS, can be summarized as follows. First category of WOS is ‘wisdom as a scientific attitude’. The examples of this category are ‘rational suspicion and open-minded attitude’, and ‘effort to find the best way in given situation’. Second category of WOS is ‘wisdom as a method for problem solving’. The examples of this category are ‘thinking with changing the conditions’, and ‘communication using the language of science’. Third category of WOS is ‘wisdom as a reflection about science and human’. The examples of this category are ‘understanding of the relationship between science and society’, and ‘perceiving the relationship between science and my life’. In conclusion, “Wisdom-oriented Science Education” as an alternative goal of future science education is suggested with its meanings and implications.

1. 서론

“좋은 과학 문명이 되기 위해서 지식은 지혜와 함께 증가해야 한다. 여기서 지혜란 삶의 목적들에 관한 올바른 인식을 뜻하며 본디 과학이 제공하는 것은 아니다.” - (Russell, 1931)¹⁾

지식은 문명의 발전을 이끌지만, 지혜가 없는 지식은 ‘좋은’ 문명으로 이어지지 못한다. 과학은 근본적으로 지식이며(Russell, 1931, p. xxiv), 그 자체로 지혜가 될 수 없기에 지혜와 함께할 것을 요구받는다. 과학교육에서 ‘지혜로서의 과학(Science as Wisdom, SaK)’을 제안한 Song(2016)의 주장이 일견 생소하게 들리는 것도 과학과 지혜가 영역을 달리한다는 인식에서 기인한다. 지혜로서의 과학은 구체적으로 어떤 변화를 요구하는가? 과학을 바라보는 관점이 지식에서 지혜로 변화해야 한다는 문제의식을 같이 하면서, 본 연구는 보다 구체적으로 지혜에 대한 과학교육적 논의를 전개하고자 한다.

지식과 함께 지혜를 추구해야 한다는 생각은 아주 새로운 것은 아니다. 과학뿐 아니라 학계 전반에서 혁신이 필요할 때마다 지혜의

가치를 고취하는 주장들은 꾸준히 제기되어 왔다(e.g. Kim, 2006; Zeleny, 2006; Maxwell, 2007; Betz, 2012). 예로, Maxwell(2007)은 학문적 탐구의 패러다임이 지식의 확대가 아닌 지혜의 획득을 목적으로 변해야 한다고 제안하였고, Betz(2012)는 사회에 대한 지식보다 사회에 기여할 수 있는 지혜를 얻기 위한 방식으로 연구 방법론이 변해야 한다는 주장을 피력하기도 하였다. 하지만 지혜의 가치와 그 필요성에 공감하는 것과는 별개로, 지혜의 명확한 의미와 구체적인 실천 방안에 대해서는 합의될 만큼의 진전이 이루어지지 못했다(Kim & Moon, 2010; Lee & Cho, 2012; Staudinger & Glück, 2011). 그것은 지혜의 추상적 성격과 의미의 모호성에서 상당 부분 비롯된다. 이 때문에 지혜를 실천의 차원으로 연결짓는 작업은 구체적인 경험이나 논리보다 주관적 추론과 고찰에 근거하여 이루어지는 경우가 많다. 심리학에서 수십 년째 지혜를 규명하려는 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 지혜는 여전히 그 가치에 비하여 학문적으로 알려진 바가 적은 개념 중의 하나이다. 지혜를 판단할 준거도 부족하고 누구나 주관적 해석이 가능한 개념이기 때문에 지혜에 대한 학문적 접근은 현재까지도 수월한 작업이 아니다.

* 교신저자 : 송진웅 (jwsong@snu.ac.kr)

** 이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A3A2925401).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.6.793

1) 원문: “If, therefore, a scientific civilization is to be a good civilization it is necessary that increase in knowledge should be accompanied by increase in wisdom. I mean by wisdom a right conception of the ends of life. This is something which science in itself does not provide.” (Russell, 1931, p. 12)

특히 과학교육에서 지혜를 연구한 사례는 더욱 찾아보기가 어렵다. 드물게, Salloum(2017)이 아리스토텔레스의 실천적 지혜(practical wisdom, 원어: *phronesis*) 개념을 과학교육에 적용할 수 있는 방법에 대하여 이론적으로 논의한 바 있다. 그는 아리스토텔레스의 지혜 개념을 덕 인식론(virtue epistemology)에 비추어 해석함으로써 과학교육에서 도덕적 성품과 지적 미덕이 강조되어야 함을 주장하였다. 하지만 지혜에 대한 논의가 아리스토텔레스의 실천적 지혜의 개념에 국한되어 있다는 점과, 과학교육에서의 구체적인 실천 방안에 대한 제안이 부족하다는 점은 한계로 들 수 있겠다.

국내에서는 과학교사들이 지혜라는 개념을 어떻게 인식하는지 조사한 Lim & Song(2017)의 연구가 있다. Lim & Song(2017)은 과학교사 집단이 지혜 교육의 필요성에는 대체로 동의하고 있지만 지혜와 과학교육과의 연결 지점에 대해서는 구체적인 인식을 가지고 있지 않다는 것을 보였다. 또한, 과학교육의 주요 실천가들인 과학교사 집단의 인식을 조사함으로써 보다 실현 가능한 의미의 지혜를 찾아내고자 했다는 점에서 의미가 있다. 그러나 다른 과목 교사들과 비교될만한 과학교사들만의 인식적 특징이 나타나지 않았다는 점과, 마찬가지로 구체적인 실천 방안을 제안하지 못했다는 점에서 한계를 보인다.

Lim & Song(2017)의 연구에서 주목할 만한 결과 중 하나는 과학지식이 만들어지는 과정과 그것이 적용되는 과정에서 지혜를 떠올린 응답이 많았다는 것이다. 새로운 과학적 발견이 검증을 거쳐 과학지식으로서의 지위를 획득하기까지의 과정을 ‘지식 이전(以前)의 과학’이라고 한다면, 과학지식이 기술과 접목되어 사회적으로 활용되는 과정은 ‘지식 이후(以後)의 과학’으로 불릴 수 있다(Zhang, 2012, p. 23)²⁾. 즉, 지식 이전과 지식 이후의 과학에서 지혜를 떠올린 과학교사들의 응답은 과학지식이라는 ‘결과’로서의 과학보다 과학의 역사 및 활용이라는 ‘과정’으로서의 과학에서 지혜를 찾을 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 이 결과에 주목하여 과학지식의 형성과정에서 발견할 수 있는 지혜와 과학지식의 활용 과정에서 요구되는 지혜가 무엇인지 탐색해보고자 하였다.

한편, 같은 연구에서 과학교사들의 80%가 학교 교육을 통해 지혜가 길러질 수 있다고 응답하였다고 한다(Lim & Song, 2017). 물론 과학교육의 범위를 벗어나서 보자면, 역사적 일화를 활용하여 지혜를 도모하는 수업 지도안이 개발되거나(Sternberg, Jarvin, & Reznitskaya, 2008), 도덕교육 분야에서 지혜 계발을 위한 교육 방안이 제안되는 등(Kim & Kim, 2014; Park, 2010), 지혜 함양을 위한 실천적 방안들이 연구되고 있음을 알 수 있다. 하지만 ‘과학’ 수업을 통해 학습자의 지혜 계발을 도모하는 방법에 대해서는 거의 논의된 바가 없다. 그럼에도 불구하고 상당한 비율의 과학교사들이 긍정적으로 응답한 이유는 아마도 당시 해당 질문의 초점이 ‘과학교육’이 아닌 ‘학교 교육’에 맞춰져

있었기 때문일 것으로 생각된다. 즉, 과학뿐 아니라 학교에서 제공되는 모든 교과목을 다 배울 경우에 학습자의 지혜가 계발될 것인지를 물었기 때문에 80%나 되는 과학교사들이 긍정적으로 응답했을 수 있다. 더불어 ‘학교 교육’이라는 표현이 교과 수업 외의 공동체 활동이나 상호작용들까지 포함하는 것으로 인식된다는 점도 고려해보아야 한다. 실제로 학교 교육을 통해 지혜가 계발될 수 있다고 본 응답 중에는, 그 이유를 “학교에서 생활하는 동안 경험할 수 있는 사회적 관계”나 “친구들과의 생활”에서 찾는 경우가 있었다(Lim & Song, 2017, p. 739). 따라서, 80%라는 긍정적 응답률로부터 현재의 과학교육이 학습자의 지혜에 충분히 기여하고 있다고 결론 짓기에는 무리가 있다. 이는 과학교육과 지혜가 어떤 관계인지, 또 어떻게 학습자들의 지혜 계발에 과학교육이 기여할 수 있는지에 대한 연구가 여전히 부족하다는 것을 시사한다.

앞서 살펴본 선행연구들에 대한 비판적 시각으로부터, 본 연구는 학교 과학수업의 차원에서 지혜 교육의 가능성을 살펴보고자 하였다. 본 연구의 목적은 ‘지식 이전의 과학’과 ‘지식 이후의 과학’에 주목하여 과학으로부터 배울 수 있는 지혜, 즉 ‘과학의 지혜(Wisdom of Science)’가 무엇인지 탐색해보는 것이다. 이를 위해 3개 고등학교의 2학년 물리 수업을 4차시씩 관찰하고 교사 면담과 학생 면담을 각각 진행하였다. 수집된 자료를 분석하여 ‘과학의 지혜’의 예시를 도출하였고, 이를 연구자의 관점에서 해석하고 논의하여 연구 결과로서 제안하였다.³⁾ 마지막으로 ‘지혜로서의 과학(Song, 2016)’의 연장선에서 ‘지혜 지향적 과학교육(Wisdom-Oriented Science Education)’을 제안하고 그 의미와 실천 방안에 대해 논의하였다.

II. 연구방법

1. 연구 참여자

본 연구에서 탐색하고자 하는 ‘과학으로부터 배울 수 있는 지혜’는 과학에 대한 흥미나 성취와 상관없이 모두에게 ‘공유될만한’ 것으로서의 의미를 갖는다. 학습자 집단의 특성에 따라 과학지식은 양과 깊이 면에서 차등적으로 교수학습이 이루어지고 있으나, 지식이 아닌 지혜는 모든 학습자에게 공유될만한 가치가 있어야 한다. 이런 이유로 다양한 특성의 학습자 집단을 연구 참여자로 하여 그들의 수업을 관찰하고 면담을 통해 그들의 생각을 들어보고자 하였다. 이에, 수도권 지역의 과학고등학교, 일반고등학교, 특성화고등학교 중에서 한 학교씩을 선정하고 각 학교의 2학년 물리 담당교사와 해당 교사가 가르치는 1개 반 학생들을 연구 참여자로 모집하였다. 모집된 연구 참여자는 A과학고등학교에서 2학년 물리 수업을 담당하고 있는 A교

2) Zhang(2012, p. 23)은 “과학을 한다는 행위 자체가 다시 성격이 다른 두 가지로 나누어짐을 알 수 있다. 그 하나는 과학 지식을 창출해나가는 지식 형성 작업에 관여하는 일이고, 다른 하나는 이미 형성된 과학 지식을 그 성격에 맞추어 활용해나가는 일이다.”라고 하였다. 여기서 ‘과학 지식을 창출해나가는 지식 형성 작업에 관여하는 일’과 ‘이미 형성된 과학 지식을 그 성격에 맞추어 활용해나가는 일’이 곧 본 연구에서 사용한 ‘지식 이전의 과학’과 ‘지식 이후의 과학’에 대응된다. 그러나 과학이라는 행위를 발달 양상과 논리 구조에 각각 주목하여 구분한 Zhang(2012)의 과학철학적 관점과 본 연구의 관점에는 약간의 차이가 있다. 본 연구는 과학이라는 인간의 행위에 주목하여 과학지식의 ‘형성 과정’과 ‘적용 과정’을 강조할 목적으로 ‘지식 이전의 과학’과 ‘지식 이후의 과학’이라는 표현을 사용하였기 때문이다. 다만, 이 표현들이 Zhang(2012, p. 23)으로부터 착안된 것임을 밝히는 바이다.

3) 본 연구는 물리를 과학의 한 분과이자 대표성을 가질 수 있는 과목으로 인식하고, ‘물리’ 수업을 관찰하여 ‘과학’의 지혜를 탐색하고자 하였다. 융합 과학이나 화학, 생물, 지구과학 교과 수업을 관찰한 것이 아니라 물리 교과 수업만을 관찰하였기 때문에 ‘물리의 지혜’라고 보는 것이 타당하다는 의견이 있었으나, 다음의 이유로 반영하지 않았다. 첫째, ‘물리의 지혜’, ‘생물의 지혜’, ‘화학의 지혜’, ‘지구과학의 지혜’가 따로 있다고 보지 않았기 때문이며, 둘째, ‘과학의 본성(nature of science)’에 대한 논의가 그러하듯 ‘과학의 지혜’에 대한 논의도 과학 분과 학문의 다양성에 주목하기보다 공통성에 주목하고자 하였기 때문이다. 요컨대 ‘물리’라는 과학의 한 분과에 해당하는 수업을 관찰하여 ‘과학의 지혜’의 예시들을 찾아보는 것이 본 연구의 목적임을 한번 더 밝힌다.

Table 1. Basic information of research participants - physics teachers

교사	학교	성별	교사 경력	학위	교직 경험의 특성
A교사	A과학교등학교	여	11년	과학교육 박사	일반중학교 및 일반고등학교에서의 교직 경험 있음
B교사	B일반고등학교	남	3년	과학교육 석사과정 재학	현재 재직 중인 학교 외의 다른 학교 근무 경험 없음
C교사	C특성화고등학교	여	13년	과학교육 석사	현재 재직 중인 학교 외 다른 특성화고에서의 교직 경험 있음

Table 2. Basic information of research participants - students

학생	학교	성별	물리 흥미도	지망 학과	장래 희망	최근 고민
A1	A과학교등학교	남	상	물리천문, 전기, 기계	물리학자	효율적 시간 분배
A2		남	상	물리학과	생명과학자 또는 물리학자	엔트로피 법칙과 우주
B1	B일반고등학교	남	상	-	-	공부
B2		남	상	기계항공공학과	항공기 디자이너	멀어진 내신
B3		남	중	건축과	-	중간고사
B4		남	중	컴퓨터공학과	서버프로그래머	여성
B5		남	상	-	-	시험
B6		남	하	건축학과	건축과	공부
C1	C특성화고등학교	남	하	실용음악	아티스트	음악 시간에 부를 노래
C2		여	중	건축과	건축가	연애

*응답하지 않았거나 고민 중이라고 응답한 경우 불입표(-) 표시하였다.

*C1, C2의 지망 학과와 장래 희망은 현재의 전공과 무관하다.

사와 그의 수업을 수강하는 학생들, B일반고등학교에서 이과 2학년 물리를 가르치고 있는 B교사와 그가 가르치는 1개 반 학생들, 그리고 C특성화고등학교의 2학년 물리 담당교사인 C교사와 그가 가르치는 1개 반 학생들이다.)

세 명의 교사는 연구자가 수업분석 이후에 요청한 교사 면담에 동의 절차를 거친 후 참여하였다. 연구에 참여한 교사들의 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다. A교사는 11년의 교직 경험이 있으며 일반중학교와 일반고등학교를 거쳐 A과학교등학교에서 4년째 근무 중이다. 그는 과학교에서의 물리 수업에 자신감이 있는 편이며 학습자 집단의 특성을 잘 이해한다고 생각하고 있었다. 또한, 과학교육 물리 전공 박사학위 소지자로서 물리학과 과학교육에 대한 이해가 높은 편이다. B교사는 B일반고등학교에서 교직 생활을 시작하여 3년째 물리 수업을 담당하고 있으며 그 외 학교에서의 근무 경력은 없다. 그는 입시 중심의 학교와 학습자 집단에 적응하는 과정을 거치면서 교직을 시작한 첫해와 지금의 수업 방식이 많이 달라졌다고 언급하였다. C특성화고에서 3년째 재직 중인 C교사는 총 교직 경력이 13년이며 처음 5년은 중학교에서 과학 과목을, 이후 5년은 다른 특성화고등학교에서 물리를 가르친 경험이 있다. 일반고등학교에서의 교직 경력은 없으며 과학교육 물리 전공 석사학위 소지자이다. 세 명의 교사 모두 물리학 전공 이학사 소유자 및 과학교육 석사학위 이상의 소유자로서 물리학에 대한 이해가 높으며 과학교육에 대한 생각과 철학을 풍부하게 갖고 있다고 판단되었다. 교사 연구 참여자의 간략한 정보는 Table 1에 정리하였다.

연구 참여 교사들이 근무하는 고등학교는 학생들의 과학에 대한

흥미와 성취도, 진로 면에서 큰 차이를 보인다. A과학교는 과학 내용 학 수업이 세분화되어 있고, 학생들 스스로 탐구 주제를 정하여 연구를 수행할 수 있는 프로그램이 풍부하게 제공된다. 또한, 전문가들로부터 연구 지도를 받을 기회가 많아 과학교등학교로서의 교육적 장점들을 전형적으로 갖추었다고 볼 수 있다. B일반고는 과학수학 성적이 우수하고 이공계 관련 진로를 생각하고 있는 학생들이 많이 입학하며, 학생들의 과학수학 성취도가 보통의 일반고등학교에 비해 높은 편이다. C특성화고는 몇 개의 세부 전공으로 반이 나뉘어 있으며 전공에 따라 선택할 수 있는 진로의 폭이 비교적 좁다. 과학에 대한 흥미와 성취도는 낮은 편이나 물리 수업에 적극적으로 참여하는 정도는 다른 학교와 비슷하였다.

면담에 참여한 학생들은 각 교사의 수업을 수강하는 학생들 중에서 참여 의사를 밝힌 학생들로 선정되었다. 최종적으로 면담에 참여한 학생들은 A교사의 수업을 듣는 학생 2명, B교사의 수업을 듣는 학생 6명, C교사의 수업을 듣는 학생 2명이었다. 학생 면담 참여자의 세부 정보는 Table 2에 정리하였다. 총 10명의 학생 면담 참여자 중 여학생은 한 명이었다. 이는 A교사가 재직 중인 과학고의 남학생 비율이 여학생보다 훨씬 높다는 점과 B교사가 재직 중인 일반고가 남자고등학교라는 점과 관련된다.

2. 자료 수집

자료수집 과정을 포함하여 개략적인 연구 과정을 Figure 1에 나타내었다. 먼저 수도권 내의 과학고, 일반고, 특성화고 중에서 한 학교씩을 섭외하고 각 학교의 물리 교사 1명씩을 교사 연구 참여자로 선정하였다. 각 교사와 협의 하에 각 4차시의 물리 수업을 2개월에 걸쳐 고정된 한 반에 대하여 관찰하였다. 자료 수집 기간에 학교에서 진행되는 행사와 시험 기간, 수행평가, 수학여행 등을 고려하여 관찰 일정

4) 연구 참여자의 학교를 구체적으로 특정할 수 있는 정보들은 본문에서 인용하지 않았으며 모든 응답에 대해서 개인적인 특징이 강하게 드러나는 말버릇이나 속어 및 은어 표현은 발언의 해석에 영향을 주지 않는 선에서 삭제하거나 변경하였다.

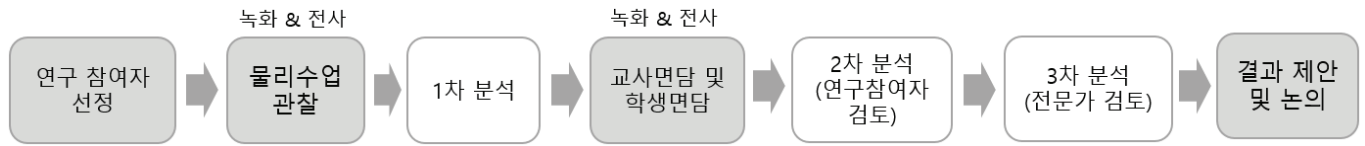


Figure 1. Research process

Table 3. Topics of the observed physics lesson

교사	수업 주제			
	1차시	2차시	3차시	4차시
A교사	특수상대성이론의 역사적 배경 및 증명 과정	길이 수축, 시간 팽창, 동시성의 상대성	로렌츠변환과 빛의 도플러 효과	상대론적인 운동량과 에너지
B교사	동시성의 상대성, 시간 팽창	길이 수축, 질량에너지 동등성	전기력선과 정전기	전류가 만드는 자기장
C교사	역학적 에너지 보존법칙	낙하하는 물체의 역학적 에너지 측정 실험	전하와 전기력	쿨롱법칙과 전기장

을 결정하였다. 세 학교 모두 2학년을 대상으로 하는 물리 수업이었기 때문에 비슷한 단원이 중복되었다. 자료 수집 기간에 A교사는 상대성이론의 물리적 설명과 수학적 증명 과정을 가르쳤으며 B교사는 상대성이론 및 전기력과 전기장 단원을 가르쳤다. C교사의 수업은 역학적 에너지 보존법칙 및 전기력과 전자기장 단원에 대한 것이었다. 관찰한 수업은 모두 영상기기를 사용하여 녹화하였고 사후 전사하여 분석 자료로 활용하였다. 관찰한 4차시의 수업 주제와 핵심 내용을 Table 3에 정리하였다.

수업 녹화 및 전사 후 연구자가 1차적으로 수업을 분석한 상태에서 교사 면담과 학생 면담을 각각 수행하였다. 교사 면담에서는 먼저 각 교사가 속해 있는 학교의 학습자 집단의 특성을 파악하기 위해 재직 중인 학교의 교육과정과 교과목 구성, 학생들의 진로와 학업에서 보이는 특성에 관해 질문하였으며, 교사의 경험에 따른 인식을 바탕으로 학생들의 과학에 대한 흥미와 성취도, 학생과 학부모의 교사에 대한 요구 등을 조사하였다. 다음으로, 연구자의 1차 분석 결과를 함께 공유하고 그것이 지혜로 제시되기에 적절한지, 비슷한 예는 무엇이 있는지 등을 폭넓게 논의하였다. 면담은 반(半) 구조화된 형식으로 진행되었으며, 연구자의 분석을 바탕으로 함께 의견을 나누고 이견을 좁혀가는 방식으로 이루어졌다. 연구자가 면담 전에 미리 작성해 둔 질문지를 바탕으로 면담이 진행되었으나, 연구 참여자의 답변이 명확하지 않거나 구체적인 예시가 필요하다고 판단된 경우에는 추가로 질문한 후 자료 활용에 대한 동의를 구하였다. 학생 면담에서는 과학과 물리)에 대한 전반적인 인식과 물리 수업의 의미, 향후 진로와 과학의 관계 등에 대해 폭넓게 질문하였다. 교사 면담은 연구자와 1:1로 약 90분 동안 1회씩 진행되었으며, 추가 면담이 필요한 경우에는 전자우편과 휴대전화를 사용하여 질의응답을 거쳤다. 학생 면담은 교사가 동행하지 않는 소집단 면담 형태로 60분에 걸쳐 1회씩

진행되었다. 모든 면담 내용은 녹음되었고 사후 전사하여 연구 자료로 활용하였다. 교과서, 미디어 자료, 직접 개발한 보조자료 등 교사들이 수업에서 사용한 기타 자료들도 함께 수집하여 연구 결과의 신뢰와 타당성을 높이기 위한 교차 검증에 활용하였다.

3. 분석 방법

본 연구의 목적은 수업 관찰과 면담을 통해 과학으로부터 배울 수 있는 지혜, 즉 ‘과학의 지혜’를 탐색하고 그 의미를 논하는 데 있다. 이를 위해서는 ‘지혜’가 무엇인지를 먼저 명확히 규정해야 한다. 하지만 현대적 의미의 지혜에 대한 수십 년간의 연구에도 불구하고 여전히 그 정의에 대해서는 명백히 합의된 바가 없다. 오히려 지혜의 속성이나 준거, 구성요소나 발달요인 등에 관한 연구가 누적될수록 지혜의 개념적 범주는 점차 넓어져 왔다. 그 이유 중 하나는 지혜가 여러 상이한 요소들 사이의 조절과 균형으로 이루어지는 통합적 개념으로 인식된다는 점이다(Birren & Fisher, 1990; Lim & Song, 2017). 따라서 지혜가 개념적으로 확장되어온 것은 포괄적이고 다차원적인 지혜의 속성들에 대한 탐색의 결과로 보는 것이 적절하다고 생각한다. 지혜를 조작적으로 규정하려는 시도는 오히려 지혜의 통합적 성격을 퇴색시킬 수 있으며(Birren & Fisher, 1990), 지혜의 본질적 가치를 놓치게 될 수도 있다.6)

그럼에도 불구하고 ‘과학의 지혜’를 구체적으로 도출하기 위해서는, 본 연구에서 주목하는 ‘지혜’의 의미를 한정적으로 규정할 필요가 있다. 이것은 본 연구에서 규정하는 의미가 지혜의 정의에 가장 적합하다고 주장하는 것이 아니며, 이와 다른 개념적 정의가 적절하지 않다고 보는 것도 아니다. 단지 본 연구의 탐색적 목적을 생각할 때, 과학지식에 대응되는 의미로서의 ‘과학의 지혜’를 규정해야만 분석의 타당성을 높일 수 있기 때문이다.

기존의 연구들을 살펴보면, 지혜는 크게 두 가지 관점에서 이해

5) 과학과 물리의 포함 관계를 생각할 때 ‘과학과 물리’라는 표현이 어색하게 들릴 수 있다. 하지만 면담에 참여한 학생들은 ‘과학’과 ‘물리’를 개별적으로 인식하는 듯한 발언을 자주 하였기에 ‘과학과 물리’라고 표현하였다. 학생들은 맥락에 따라 ‘과학’을 ‘물리를 제외한 생물, 화학, 지구과학’을 동시에 이르는 말로 사용하기도 하였고, 분과학문의 총칭이 아닌 ‘기술(technology)의 기초가 되는 자연과학 지식’의 의미로 ‘과학’을 사용하기도 하였다.

6) Sternberg(1990)은 이에 관해 “... (지혜에 대한) 완전한 이해는 언제나 우리를 비껴가며, 그것을 인식하는 것 그 자체가 지혜의 한 표시이다.”라고 언급하였다. (원문: “... the recognition that total understanding will always elude us is itself a sign of wisdom.”)

되고 있다. 능력, 기질, 성격, 정신발달 등 인간의 '내면적 상태'로 보는 관점과 행동, 생각, 방법, 태도 등 인간의 '의식적 행위'로 보는 관점이 그것이다.⁷⁾ 지혜를 인간의 내면적 상태로 보는 관점을 취한다면, 지혜의 발달 정도가 선천적인 속성에 의해 크게 좌우되며 교육을 통해 달성하는 데 한계가 있고 교육적 실천 방안을 구체화하기도 어렵다. 이 관점에서 지혜는 교육보다는 개인의 끊임없는 수련과 성찰, 다양한 경험을 통해 발현되는 것으로 인식된다. 또한, 특정인에 대해 '지혜로운 사람'이라고 표시하는 것이 가능해진다. 이는 '더 지혜로운 사람'과 '덜 지혜로운 사람'을 구분할 수 있다는 말이 된다. 무엇보다 개인의 내면적 상태로서의 지혜는 과학이라는 교과 안에서 발견하기가 매우 어렵다.

반면, 지혜를 인간의 '의식적 행위'로 보는 관점은 비교적 구체적으로 지혜의 예시들을 특정할 수 있으므로 교수학습 가능성(teachability and learnability)을 함축한다. 과학 교과 측면에서 볼 때, 이 관점에서 지혜는 지식 이전과 이후의 과학에서 발견하기가 비교적 수월하며 지식으로서의 과학이 아닌 과학의 총체적인 모습을 조명하는 데도 유용하다. 마지막으로, 지혜가 양적 측정의 대상이 아니라 질적 논의의 대상이 됨으로써 누구나 과학의 지혜에 대한 논의에 참여할 수 있게 된다는 점 또한 본 연구의 문제의식에 걸맞다.

이에 본 연구에서는 '지혜'를 '인간의 지혜로운 행위'의 의미로 한정하여 사용하고자 한다. 여기서 '인간'은 한 개인일 수도 있고 공동체일 수도 있다. 개인의 행위이든 집단지성의 결과이든, 과학의 실천적 측면에서 발견할 수 있는 지혜라는 데 의미의 초점이 있다. '행위'는 위에서 언급한 것처럼 인간의 의식적 행동, 생각, 태도, 방법 등을 의미하는 것으로서 개별적 인간의 고유한 특성으로 인식되는 '내면적 상태'에 대응되는 개념으로 사용하였다. '상태'가 '도달하는 것'이라면 '행위'는 '함양하는 것'이고, '상태'가 '되는 것'이라면 '행위'는 '하는 것'으로 이해할 수 있겠다. 여기서 '지혜로운'이라는 형용사는 다음과 같은 네 가지 조건을 만족하는 것으로 규정하였다.

1. 개인이나 사회에 도움이 되고,
2. 윤리적으로 바람직하거나 문제가 되지 않으며,
3. 가능한 효율성의 가치를 수반하고,
4. 공동체에 공유될만한 가치가 있는 것.

지혜에 대한 위의 개념적 논의를 바탕으로, 본 논문에서는 '과학의 지혜'를 다음과 같은 의미로 사용하였다.

과학의 지혜(Wisdom of Science): 과학으로부터 배울 수 있는 지혜로서, 특히 지식 이전과 이후의 과학에서 발견할 수 있는 지혜로운 행위를 의미한다. 여기서 '지혜로운 행위'는 개인이나 사회에 도움이 되고, 윤리적으로 바람직하며, 가능한 효율적이고, 공동체에 공유될만한 가치가 있는 행동이나 태도, 방법, 생각 등을 일컫는다.

이에 기초하여, 3차에 걸쳐 자료를 분석하고 최종 연구 결과를 도출하였다. 먼저, 연구자가 수업 전사본을 반복적으로 읽으며 과학의 지혜에 해당될 수 있는 내용들을 도출하고 목록화하여 1차 분석을 완료하였다. 예를 들어, 본 연구의 연구 참여자인 A교사의 마이컬슨-몰리 실험에 대한 다음의 발언으로부터 '예상지 못한 결과가 나왔을 때는 과정이 정확했는지 살펴본다.'라는 명제를 과학의 지혜로 도출하였다.

A교사: 이론을 세우고, 실험을 하면 이렇게 되겠지. 하고 예측을 했는데 그게 안 맞을 때는 첫째, 일단 실험 도구를 의심해야 돼. 내가 실험 측정을 잘못한 게 아닐까? 근데 실험도구를 아무리 봤더니 실험도구는 괜찮아. 내가 측정은 잘한 것 같아. 그럼 이제 뭐가 문제야? 이론이 문제인 거지. 뭔가 잘못된 게 아닐까? 이렇게 의심이 시작되는 거죠. [수업]⁸⁾

결과가 예상과 다르게 나왔을 때, 방법을 바꾸거나 쉽게 원리를 의심하지 않고 먼저 과정의 정확성을 따져보는 것은 일상생활에서도 필요한 합리적 태도가 될 수 있다. 또 윤리적으로 문제가 되지 않으며, 시행착오를 줄일 수 있어 효율적이고, 과학을 공부하는 학습자들에게 공유될만한 행동이라고 판단하였다. 반면, 같은 교사가 다른 실험에 대해 설명한 다음과 같은 발언에서는 과학의 지혜를 도출하기 어렵다고 보았다.

A교사: 그리고 항상 빛의 속도로 움직이냐? 실제로 맞냐? 그걸 또 증명하기 위해서 실험을 했죠. 실험실에서 중성파이온을 놔두는 거야. 그럼 파이온이 쪼개지면서 빛이 퍼져나갈 거지. 그때 감마선의 속도를 측정해. 빛의 속도를. 그다음에 이 파이온을 가속시켜. 그 상태에서 애가 쪼개지는 거야. 그러면 고전역학에 의하면 쪼개져서 가는 애는 빛의 속도보다 더 빨라야 되는 거죠. 우리의 생각에는 움직이고 있다가 딱 쪼개진 애는 더 빨리 갈 것 같은데 실험 결과, 그렇지 않았겠쎬. 둘 다 빛의 속도 c 로 움직이더라. [수업]

중성파이온 가속 실험에 대해 언급한 A교사의 위와 같은 발언은 실험의 목적과 설계, 결과 및 의미까지 잘 설명하였지만 실제적 유용성이나 공유될만한 가치를 갖고 있다고 보기 어려웠다. 따라서 이 경우는 과학의 지혜가 아닌 과학 실험에 관한 지식으로 판단하였다. 관찰한

7) 판단력, 창의력 등 인간의 '능력'이나 '재능'을 지혜로 보는 연구들은 Robinson(1990), Chandler & Holliday(1990), '기질' 및 '성격'을 지혜로 보는 연구들은 Sternberg(1990), Orwoll & Perlmutter(1990), Clayton & Birren(1980), Ardeli(2003), 높은 수준으로 발달한 '정신적 상태'를 지혜로 보는 연구들은 Csikszentmihalyi & Rathunde(1990), Labouvie-Vief(1990), Pascual-Leon(1990), 등이 있다. 반면 조연이나 중재와 같은 '행동'을 지혜로 보는 연구들은 Baltes & Smith(1990), Birren & Fisher(1990), 창의적이거나 통찰적인 생각을 지혜로 보는 연구들은 Meacham(1990), Staudinger, Döner, & Mickler(2005), 문제에 대처하고 해결하는 '방법' 등을 지혜로 보는 연구들은 Kramer(1990), Kupperman(2005), Solomon, Marshall, & Gardner(2005), 인간의 '태도'를 지혜로 보는 연구들은 Kitchener & Brenner(1990), Arlin(1990), Bluck & Glück(2005) 등이 있다. 여기 언급한 대부분의 연구들은 지혜를 능력, 기질, 행동 등의 분류를 따르는 하나의 차원으로 보는 것이 아니라 그런 것들이 지혜의 요소가 되거나 지혜의 범주에 들어갈 수 있다고 보고 있다. 대부분의 지혜 연구는 지혜를 통합적 개념으로 인식하고 그 구성요소나 발달요인이 무엇인지를 여러 차원에서 제시하였다.

8) 본 연구에서 면담 및 수업 발췌문의 표기는 다음과 같이 통일하였다. 수업 중 발언이나 대화는 [수업], 면담 중 발언이나 대화는 [면담], 서면 질의 응답에서 발췌한 응답은 [서면 응답]으로 발췌문 마지막에 표기하였다. 발언자 표기는 면담에 참여한 교사 및 학생의 경우 'A교사', 'A1학생' 등으로 표기하였으며, 면담에 참여하지 않은 학생이 수업 중에 발언한 경우 '학생', '학생들'로 특정(特定)하지 않고 표기하였다. 발췌문이 너무 길어지는 경우 중복 문장이나 의미 전달에 크게 영향을 미치지 않는 문장은 '(생략)' 표기로 대체하였다. 또한 발췌문의 의미가 명확히 드러나도록 하기 위해, 면담이나 수업 중 실제 발언에서 생략된 표현은 의역하여 괄호 안에 표기하였다.

Table 4. 1st analysis - categories and examples of 'Wisdom of Science'

다양성과 개방성	문제 해결 방법	과학과 인간의 관계
관찰자에 따라 서로 다른 세계관을 가질 수 있음을 안다.	공동 기호를 사용하여 소통하는 것의 유용함을 안다.	과학지식이 생활에 유용한 기술로 활용될 수 있음을 안다.
같은 현상을 다양한 관점에서 해석해본다.	예상치 못한 결과가 나왔을 때는 과정이 정확했는지 살펴본다.	과학지식이 세상을 보는 눈을 변화시킬 수 있음을 안다.
당연하게 여겨진 것들이 사실이 아닐 수 있음을 안다.	작은 차이를 발견하기 어렵다면 스케일을 키워서 실험한다.	과학지식은 어떻게 활용하느냐에 따라 해악이 될 수 있음을 안다.
상반되는 주장도 양립할 수 있음을 안다.	실험의 오차를 줄이기 위해 여러 번 반복하여 얻은 평균값을 활용한다.	
감각적으로 느끼는 것이 사실과 다를 수 있음을 안다.	다양한 상황을 설정하여 생각해본다.	
	문제 상황에 자신을 대입하여 생각해본다.	

Table 5. 2nd analysis - Categories and examples of 'Wisdom of Science'

과학적 탐구로서의 지혜	문제 해결 방법으로서의 지혜	과학과 인간의 관계에 대한 지혜
기존의 생각에 대한 의심	기호와 약속을 사용하는 소통방식	과학이 사회에 미치는 영향에 대한 이해
새로운 생각에 대한 개방적 태도	문제 상황의 조건을 바꿔 생각해보는 사고	과학이 나 자신과 맺는 관계에 대한 이해
	주어진 조건에서 최선의 방법을 찾아내는 노력	

Table 6. Final results - categories and examples of 'Wisdom of Science'

과학의 지혜 - 범주	과학의 지혜 - 예시	지식 이전/이후 분류
1. 과학적 탐구에 필요한 태도	합리적 의심과 개방적 태도	지식 이전의 과학
	최선의 대안을 찾는 노력	
2. 문제 해결에 유용한 방법	조건을 변화시켜보는 사고방식	지식 이후의 과학
	과학의 언어를 사용하는 소통방식	
3. 과학과 인간의 관계에 대한 고찰	과학과 사회의 관계에 대한 이해	지식 이후의 과학
	과학과 나의 관계에 대한 인식	

모든 수업의 전사본을 같은 방식으로 분석하여 과학의 지혜를 문장 형태로 도출하였다. Table 4는 1차 분석 결과를 '다양성과 개방성', '문제 해결 방법', '과학과 인간의 관계'의 3가지로 범주화한 결과이다.

다음으로 1차 분석 결과와 원자료를 가지고 교사 면담을 진행하여 연구자의 해석이 적절한지, 도출된 결과가 교사의 의도와 상반되는지를 확인하였다. 또한, 본 연구의 연구목적과 '과학의 지혜'의 의미를 공유한 뒤, 다시 1차 분석 결과의 적절성에 대해 교사들과 함께 논의하고 재(再)범주화하였다. 연구 참여자 교사들은 모두 학부에서 물리학을 전공하였고 과학교육 대학원 석사 수료 이상의 학문적 배경을 가지고 있다. 따라서 세 명의 교사는 연구 참여자이면서 동시에 연구 결과의 해석에 있어 타당도와 신뢰도를 높일 수 있는 전문가로 인정되기에 연구자의 분석 결과를 해석하고 논의하는 데 참여하였다. 실제로 연구자가 방법론적 지혜로서 앞서 도출한 '예상치 못한 결과가 나왔을 때는 과정이 정확했는지 살펴본다.'는 교사 면담에서 적절성에 대한 논의를 거친 후 기각되었다. 세 명의 교사들과의 개별 면담을 마친 후, 2차 분석을 완료하여 Table 5와 같이 정리하였다. 이 과정에서 문장 형태의 예시를 명사구(名詞句) 형태로 변환하였다.

마지막으로, 과학교육 전문가 3인에게 검토 의견을 받아 최종 수정하여 3차 분석을 완료하였다.

III. 연구결과 및 논의

고등학교 물리 수업 관찰과 교사 면담 및 학생 면담 분석을 바탕으로 다음과 같은 '과학의 지혜'의 범주와 예시를 연구 결과로서 제안한다(Table 6 참조). 이어서 각 연구 결과에 대해 수업과 면담에서 발췌한 내용을 토대로 논의하였다.

1. 과학적 탐구에 필요한 태도

A과학교과와 B일반고에서 진행된 상대성이론 수업에서는 인간이 직접 경험할 수 없는 세계를 탐구해 온 과학자들의 지혜가 공유되고 있음을 발견할 수 있었다. 상대성이론은 20세기 초에 아인슈타인이 발표한 이론으로서 시공간이 모든 관찰자에 대해 상대적이라는 생각을 바탕으로 뉴턴역학과 전자기학 사이의 모순을 해결한 이론이다. 특정 기준점에 대해 빛의 속도에 가까운 정도로 빠르게 움직인다거나 질량이 에너지로 변환되는 상황 등, 상대성이론에서 가정하는 특수한 상황들을 직접 겪어보는 것은 거의 불가능하다. 하지만 아인슈타인은 정밀한 사고실험을 핵심으로 하여 거시적 세계의 원리를 생각해내었고 이후 다른 과학자들이 실험과 관측 통해 이론을 증명해냄으로써

과학사의 큰 발전을 이끌 수 있었다. 이와 같은 과학자들의 탐구는 ‘합리적 의심과 개방적 태도’, 그리고 주어진 상황에서 ‘최선의 대안을 찾는 노력’이 뒷받침되었기에 가능하였다.

가. 합리적 의심과 개방적 태도

지식에 대한 끊임없는 의심과 새로운 생각에 대한 열린 태도는 과학의 발달을 이끈 원동력이었다. 자신이 알고 있다고 믿는 것이 다른 사람의 관점에서는 틀릴 수도 있다는 것, 그리고 지금은 옳다고 생각되는 지식도 영원불변의 진리가 아님을 과학은 알려주고 있다. A교사와 B교사 모두 상대성이론 수업의 초반부에서 고전역학이라는 기존의 이론에 대해 의심하기 시작한 과학자들의 이야기를 언급하였다.

B교사: 자, 우선 알아야 될 것은 아인슈타인은 절대로 기존에 있는 것들을 그대로 이야기하고 그냥 넘어가려고 하지 않았어. 딱 두 가지의 가정만 한다. 제일 첫 번째가 뭐냐, 모든 관성좌표계에서는 물리 법칙이 동일하게 성립한다. ... 둘째, 광속 불변의 법칙이야. [수업]

A교사: 내가 빛의 속도로 움직이면서 같이 개를 봤을 때, 어떻게 보일까? 생각하면 고전역학에 의하면 애가 멈춰있는 것처럼 보여야 돼요. 빛이 멈춰있어. 사인파가 막 보여야 되는 거지. 근데 그럴 수가 없겠지? 전자기에 의하면. 맥스웰 방정식에 의하면 빛의 속도는 항상 c 로 일정하게 가야 되는데, ... 역학에서는 애가 멈춰있는 것처럼 보일 거라는 거지. 이상하잖아, 그게. [수업]

아인슈타인은 시간과 공간이 고정되어 있다는 고전역학의 기본 전제를 그냥 받아들이지 않고 빛의 속도가 불변한다는 가정을 우선순위에 둬으로써 “위대한 발견”을 할 수 있었다. 위대한 발견은 고정관념을 벗어날 때, 기존에 가지고 있던 생각을 따르지 않을 때 가능한 것이지만 그렇다고 해서 꼭 과학자에게만 이런 개방적인 사고방식이 필요한 것은 아니다. B교사는 앞으로 과학자가 되지 않을 학생들에게도 고정관념을 벗어나 기존의 생각을 의심하는 태도가 필요하다고 생각하였다.

B교사: 기존의 고정관념들을 벗어났을 때 새로운 것을 발견할 수 있으니까. 그랬으면 좋겠다는 의미에서 이걸 항상 하고 넘어가거든요. 애들이 앞으로 과학을 계속해야 하는데, 그런 고정관념을 벗어날 때에만 이런 혁명적인 패러다임을 바꿀 수 있는 위대한 발견을 한다. 항상 새로운 생각을 좀 더 해봤으면 좋겠다. 앞으로 모두가 과학자가 되진 않을 거지만. (과학자가 되지 않을 아이들한테도) 의미 있다고 생각해요. 다른 어떤 직업을 갖더라도 필요한 것 같아서, 이거는 항상 하고 있는 것 같아요. [면담]

B교사의 말처럼, 합리적 의심과 개방적 태도는 과학자가 되지 않을 학생들의 삶에도 지혜로서 의미를 가질 수 있다. 근거와 논리에 기초하여 기존의 생각에 도전하고, 새로운 생각과 의견을 적극적으로 수용하고 검토하는 태도는 개인과 공동체의 발전에 필요한 기본적인 요소이기 때문이다. 무조건적인 의심이나 무비판적인 수용은 원활한 소통을 저해하고 공동체의 신뢰를 약화시킬 수 있다. 과학은

어떻게 하는 것이 ‘합리적으로’ 의심하는 것인지, 진정으로 ‘개방적인’ 태도가 무엇인지를 우리에게 알려준다. 과학 이론이 나오게 된 배경이나 과학자의 아이디어가 착안된 맥락을 살펴보면, 기존의 생각에 대해 의심이 생겨나고 새로운 가설이 등장하여 비판적인 검토를 통해 지식으로 수용되는 과정을 어렵지 않게 찾을 수 있다. 상대성이론뿐 아니라 그 이전의 뉴턴역학에서도, 이후의 양자역학에서도 마찬가지이다.

B교사: 이거 전에 뉴턴을 하잖아요. 뉴턴역학을 이거 전에 항상 가르치잖아요. 근데 그거 들어갈 때도 그렇게 하거든요. 뉴턴이 왜 혁명적이었는지. 왜냐면 기존에 가지고 있던 관성에 대한 생각을 따르지 않았기 때문에. 임페투스 얘기하는 거 항상 해요. 그렇기 때문에 이렇게 뉴턴이 새로운 걸 했고, 양자역학 할 때도 한 번 더 얘기하고. [면담]

과학지식은 본질적으로 임시적이다. 현재까지 발견된 증거들과 증명된 실험 결과들로 뒷받침되면서 가장 합리적인 설명으로 받아들여지는 이론이 과학지식으로서의 권위를 얻는다. 즉, 과학지식은 그것을 반박할 수 있는 증거와 대안 이론이 등장할 때까지만 지식으로서 인정받을 수 있다. 과학지식의 임시성으로부터 우리는 과학에 대한 맹신에 빠지지 않는 태도가 필요함을 깨달을 수 있다. 상대성이론의 발견은 누구에게나 당연하게 느껴졌던 시간의 절대성마저 관찰자의 상황에 따라 달라질 수 있다는 것을 보여준다.

A교사: 어떤 두 가지 이벤트가 동시에 일어났는가 안 일어났는가에 대해서 동의하지 않을 거라는 거죠. 한 관찰자한테 보통 동시에 일어나는 일은 다른 사람에게는 그렇지 않을 거예요. 그럼 둘 중에 한 명이 옳고 한 명이 틀렸냐, 라고 하면 그렇지 않다는 거죠. 둘 다 맞아요. 두 관찰자 중에 누가 더 타당하다고 말할 수 있는 기준도 없고, 둘 다 맞는 거죠. [수업]

동시성의 상대성은 모든 관찰자에 대해 시공간이 고정되어 있다는 고전역학의 기본 가정을 무너뜨리는 발견이다. 상식이나 정설로 받아들여지는 기존의 생각에 도전하기 위해서는 새로운 생각을 뒷받침할 타당한 근거가 제시되어야 하며 설득력 있는 설명이 뒷받침되어야 한다. 전자기학이 발달하면서 고전역학과 충돌하는 지점이 발견되고 마이컬슨-몰리 실험이 에테르의 존재를 입증하지 못하게 되면서 오랜 시간 당연한 것으로 여겨졌던 고전역학에 대한 합리적 의심이 과학 공동체 내에서 생겨났다. A교사는 상대성이론을 둘러싼 과학사적 맥락을 설명하면서 기존의 생각과 상반되는 결과를 마주했을 때 과학자들이 느꼈을 감정을 학생들이 간접적으로 체험해보기를 원하였다.

A교사: 그때 발견했을 때 역사적 상황이 이랬었으니까요. 다들 믿고 있었고, 내가(마이컬슨과 몰리가) 이론을 확신하고 있었으니까 실험을 했는데, 왜냐면 그때는 이론 확인 실험이었기 때문에 그니까 그 사람이 느꼈을 것 같아요. 이걸 마이컬슨-몰리에서 얘기했던 것 같은데, 마이컬슨과 몰리가 실험을 하면서 그들이 느꼈었을 과정 같은 걸 애들한테 소개를 해주면, 그 사람이 느꼈던 걸 애네들도 납득해야 되니까요. [면담]

마이컬슨-몰리 실험은 빛의 매질이라고 여겨졌던 에테르의 존재를 입증하기 위해 설계된 실험이었지만 오히려 에테르의 존재를 부정하는 결과로 이어졌다. 실험을 설계한 의도와 다른 결과가 나왔을 때 예상치 못한 결과를 마주했을 때, 보통은 당혹감을 느끼며 결과가 도출된 과정에 오류가 없었는지, 실험이 정확하게 수행되었는지를 확인한다. 과정에서의 문제 여부를 확인하고 나면 과학자들은 다음으로 대안적 설명을 찾게 되는데, 이때 기존의 이론이 틀릴 수도 있다는 가능성을 열어두고 합리적인 의심을 견지하는 태도는 과학자들의 실천에서 찾아볼 수 있는 지혜로운 태도의 예가 될 수 있다. 학생들 또한 기존의 생각에 용기를 가지고 도전한 과학자들의 모습을 좋아하고 또 본받고 싶어 하였다.

A2학생: 아인슈타인이나 드브로이 같은 과학자들을 좋아했던 이유가 기존에 정설로 받아들여지는 이론에 대해서 당당하게 맞섰잖아요. [면담]

A1학생: 저는 플랑크를 좋아하는데 플랑크가 진짜 실험, 좀 사소해 보이는 실험일 수도 있는데, 흑체복사 실험⁹⁾ 그걸로 앞에 있는 걸 진짜 싸그리. ... 어떻게 보면 물리를 하게 된, 평생 할 목표 같은 게 있는데 그거랑 완전히 반대를 해 본 거잖아요. 근데 그거를 다른 과학자들은 애써 부정하고 그러는데 플랑크는 그걸 발표하고 그랬으니까... [면담]

합리적 의심과 개방적 태도는 과학 공동체가 현재에 안주하지 않고 계속해서 지식의 확장과 변화를 이끌게 하는 바탕으로서 기능한다. 과학지식의 임시성, 혹은 잠정성이란 말은 과학지식에 절대적인 권위를 부여하지 않음으로써 일견 과학지식에 대한 신뢰를 약화하는 것처럼 보일 수 있다.¹⁰⁾ 하지만 그것은 단순히 A라는 이론이 B라는 이론으로 대체되고 다시 언제든지 C로 바뀔 수 있다는 한시적 성격을 강조하는 의미가 아니다. A를 포괄하면서도 더 많은 것을 설명할 수 있는 이론(A')이 등장하거나, B가 해결하지 못한 현상을 해석할 수 있는 새로운 이론(b)이 더해지는 등, 과학지식은 단순히 '변화'의 과정을 거처온 것이 아니라 시행착오를 거치며 꾸준히 '발전'해 왔다. 과학지식의 잠정적 성격이 오히려 과학의 발전 가능성을 내포하는 의미로 받아들여질 수 있는 이유는 과학자들의 합리적인 의심과 개방적 태도가 뒷받침되었기 때문이다. 그리고 이런 태도로서의 지혜는 학생들로 하여금 불가능해 보이는 탐구에 실제로 도전해보게 하는데 영향을 주었다.

9) 실제로는 플랑크가 흑체복사 '실험'을 한 것이 아니라 흑체복사 그래프를 해석하기 위한 양자가설을 이론적으로 제안하였다.

10) 과학의 잠정성에 관해 Mach(2014, original work 1883)는 다음과 같이 언급한 바 있다. "과학은 언제나 (이론에 대한) 입증이나 반박(의 사례)가 등장하기를 기다리고 있어야만 하는 것이다. 만일 입증도 반증도 일어나지 않는다면, 과학은 아무 일도 할 수가 없다. 과학은 이처럼 언제나 '불완전한 경험'의 영역에서 움직여갈 뿐이다." '불완전한 경험'이라는 표현은 과학이 경험을 근거로 하면서도 한편으로는 (경험하지 않아도) 사태를 예측할 수 있어야 한다는 의미이다. Mach(2014)에 의하면 과학 이론은 경험을 기반으로 하여 발전함과 동시에 많은 사람의 경험을 대체함으로써 시간과 생각을 '절약'해준다. '사유의 경제성(Economy of thought, 독일어 원문: Denköonomie)'이라 불리는 Mach의 이런 생각으로부터 과학의 잠정성은 필연적인 것이 된다.

A2학생: 사실 비슷한... 상대성이론은 아닌데, 그런 유형의 프로젝트 같은 거를 지금 A1이랑 같이 하고 있거든요.

연구자: 그게 뭐예요? 되게 궁금하다.

A2학생: ... 사실 연구하는 데 사심이 들어가면 안 되는 게 맞긴 한데, 근데, 그 결론이 마음에 안 드는 거예요. 엔트로피 법칙이 시사하는 결론이요. 결국엔 다 종말한다는. 그러다 보니까... 관심을 가지게 된 게 물리학적으로 불가능하다고 여겨지는 영구기관을, 만들어보기도 하는 진짜 불가능한지 가능성을 재검토해보는...

연구자: A1학생이랑 같이 실험하고 있다는 거죠?

A1학생: 실험은 아니고 사실 이론적으로 하고 있는데, 시뮬레이션 조금 해보고... 일단 영구기관은 안 될 것 같고, 열법칙은 한 번 도전해보고 있는데 지금 점점 가능성이 약해지고 있어요. [면담]

영구기관이 정말로 불가능한지, 엔트로피 증가의 법칙(열역학 2법칙)에 의심의 여지는 없는지에 대해 같이 고민하고 있는 두 학생은 학교에서 배운 과학지식을 재검토하면서 과학자들의 합리적 의심과 개방적 태도를 실천하고 있었다. 두 학생의 도전은 현실적으로 성공하기 어려워 보이지만, 이 과정을 통해 지금보다 더 지혜로워질 수 있을 것이라는 데에는 의심의 여지가 없어 보인다.

연구자: 결국 실패하게 되면 어떤 느낌이 들 것 같아요? 후회할 것 같아요?

A2학생: 후회는 안 할 것 같아요. 설령 법칙이 맞았다고 하더라도 아까 말씀드렸던 다중 우주런지 그런 가능성이 있으니까. 시간 여행이라든가. 좀 절망스러운 건 아니고 약간 안타깝긴 하겠지만, 그래도 포기하는 안 할 것 같아요. [면담]

나. 최선의 대안을 찾는 노력

역사적으로 유명한 과학 실험을 소개할 때, 교수학습의 초점은 보통 실험의 원리와 결과의 해석에 맞춰져 있다. 무엇을 알아보기 위해 어떻게 실험을 설계했고 어떤 과학적 원리가 바탕이 되었는지, 그리고 그 결과의 과학적 의미는 무엇인지에 대해 설명함으로써 실험은 과학지식을 증명하는 실제적 근거로 제시된다. A교사는 가속된 중성파이온이 붕괴할 때 나오는 감마선의 속도를 측정하여 광속이 30만 km/s 이상이 될 수 없다는 사실을 밝혀낸 실험에 대해 학생들에게 다음과 같이 설명하였다.

A교사: 그리고 항상 빛의 속도로 움직이냐? 그걸 증명하기 위해서 실험을 했죠. 중성파이온을 이용했어요. 중성파이온은 되게 불안정하거든요. 그래서 애가 붕괴돼. 감마선이 짹 퍼져나가. 그래서 어떻게 하나면 중성파이온을 가속시켜. 그래서 엄청나게 빨리 막 움직여. 그 상태에서 애가 땡! 쪼개지는 거야. 그러면 고전역학에 의하면, 가속하고 있다가 쪼개져서 가는 애는 빛의 속도보다 더 빨라야 되는 거죠. 그렇게 실험을 한 거지. 우리의 생각에는 움직이고 있다가 딱 쪼개진 애는 더 빨리 갈 것 같았는데 실험 결과, 그렇지 않았겠쎬. 둘 다 빛의 속도 c로 움직이더라. [수업]

위 설명은 빛의 속도가 어떤 좌표계에서건 30만 km/s의 속도로 일정하다는 과학적 사실을 증명하는 실험적 근거로서 제시되었다. 학생들은 이를 통해 광속 불변의 법칙이라는 상대성이론의 기본 가정을 사실로 받아들여지게 되고, 이것은 이후에 이어지는 ‘시간 팽창’과 ‘길이 수축’ 원리를 이해하는 바탕으로 작용한다. 이처럼 실험이 과학 지식을 뒷받침하는 부수적 근거로 제시될 때는 원리와 결과의 해석을 중심으로 설명하는 것이 효율적일 수 있다. 하지만 하나의 실험이 나오게 된 과정에서 발견할 수 있는 과학자들의 지혜는 실험이 수행된 당시의 역사적 배경과 당시의 과학기술 수준을 함께 고려할 때 찾아볼 수 있다. 기존에 있던 실험을 조건만 바꾸어 똑같이 반복하는 것이 아닌 이상, 새로운 실험을 설계하고 적절한 도구를 갖추어 오류 없는 실행에 이르기까지의 과정은 녹록지 않은 경우가 대부분이다. 특히 경험할 수 없는 미시적 세계나 거시적 세계, 또는 상대성이론의 배경이 되는 ‘빛의 속도에 가깝게 움직이는 관찰자의 세계’를 탐구하기 위한 실험은 충분한 기술이 갖춰지지 않은 상황에서는 거의 불가능하다. 그럼에도 불구하고 어떻게든 주어진 상황 속에서 가능한 실험을 설계해 내는 것은 과학자들의 노력과 창의력이 결부된 태도로서의 지혜로 제시될 만하다.

A교사: 그리고 또 되게 거시적 시계는, 난 이런 실험을 생각하는 사람이 좀 과짜 같다는 생각이 드는데, 1971년에 이 사람들이 어떻게 했다? 휴대 가능한 원자시계를 싣어. 어디에? 비행기에. 그리고 어떻게 해? 지구를 돈 거야, 실제로. 시간 팽창 실험을 하려면 전제조건은 엄청나게 빨리야 돼. 근데 속력이 그만큼 안 돼. 그럼 둘 중에 하나야. 정밀한 실험을 하거나, 오래 달려. 그래서 각각의 간격으로 세계를 두 번 돈 거야. 비행기를 타고... 또 몇 년 뒤에, 특정한 사람이 더 정밀한 시계를 가지고 이번엔 기차를 탔어. 실제로 횡단을 해. 그랬더니 이번엔 1%의 오차로 설명이 된 거지. 과학자 중에 이런 사람도 있어. 과짜 같지만 재밌지 않니? [수업]

A교사의 발언에 등장한 과학자들은 비행기와 기차를 타고 세계를 돌면서 시간 팽창 효과를 감각적으로 경험 가능한 수준에서 보여주었다. 그리고 A교사는 CERN의 뮤온 입자 관측 실험을 소개한 뒤에 추가로 이 “과짜 같은” 과학자들의 실험을 설명하였다¹¹⁾. 훨씬 더 과학적으로 정밀하게 측정된 실험을 먼저 알려주고 이어서 비행기와 기차를 이용한 과학자들의 실험을 소개한 이유에 대해 A교사는 ‘가치’를 알려주고 싶었기 때문이라고 말했다.

A교사: 가치가 있는 거죠. 한 획을 그은 것 같은 느낌? ... 어떻게 보면 의미가 없어 보이지만 사실은 가치가 있는 거에 투자할 수도 있는? 사실 수업 시간에 애를 넣은 건, 특수상대성이론을 애들이 안 믿을 거니까 믿었으면 좋겠어서 얘기를 하는 거고, 보통 과학자들 중에 이런 걸 많이 소개했던, 아까 얘기했던 절대 0도(에 근접하기 위해 노력하고 있는 과학자들)에 대한 얘기랑 엮어서 생각해 보면, 이

과학자들은 좀 다른 사람들이 볼 땐 멍청해 보이고 어이없어 보인다고 할지라도 가치를 가지고 좀 그런 무리한 것들을 끈질기게 해봤으면 좋겠는 거죠. [면담]

A교사는 작은 차이를 보여주기 위해 노력하는 과학자들의 집요한 노력도 충분히 해볼 만한 가치가 있다는 생각을 학생들과 공유하고자 하였다. 같은 이유로 그는 절대 0도(OK)에 도달하는 것이 물리적으로 불가능하다는 것을 알면서도 수백만 분의 1도를 낮추기 위해 끊임없이 노력하는 과학자들의 끈기에 대해서도 학생들에게 이야기한 적이 있다고 하였다. 과학자들의 그런 행동이 지혜롭게 느껴지는지 물었을 때, 그는 가능한 조건들을 활용하여 최선의 방법을 찾아냈다는 점이 지혜롭게 느껴진다고 답하였다.

A교사: 지혜롭다고 볼 수 있을 것 같아요. 실례를 만들어 준 거잖아요. 다른 사람들에게 상대성이론이 맞다는 걸 일상생활에서 알려준 거니까. 난 이게 이 사람들이 할 수 있는 최선이라고 생각하는데, 뮤온을 관찰해서 했네, 이런 것들은 일반 사람들에게는 당연히 와 닿지 않을 거기 때문에, 그러기 위해서는 최적의 방법인 거죠. 할 수 있는 기술과 수준에서의 최선의 방법. [면담]

실험이나 현상을 통해 증명되지 않으면 이론은 그저 그럴듯한 가설에 머무를 수밖에 없다. 학생들은 과학자들이 생각해내는 기발한 아이디어 못지않게 그것이 맞는지 확인하기 위한 과학자들의 노력도 중요하다고 생각하고 있었다.

A1학생: 사실 그게 이미 나온 이론을 검증하는 실험이잖아요. 이론이라는 게 이론 물리학자들이 자기 맘대로 막 해서 그냥 식 이렇게 내면 하나의 가설 같은 거를 만든 건데 그게 여태까지 엄청나게 많은데 실험을 해서 안 맞는 건 다 폐기되는 거예요. [면담]

A2학생: (A1학생과) 비슷한 생각이예요. 모든 이론은 결국에는 현상을 설명하기 위해서 존재하는 거니까 그 현상을 설명할 수 없으면 그 이론이 필요가 없는 거죠. 아무리 깔끔하고 잘 맞아떨어지고 그럴듯해 보이더라도. [면담]

B교사 또한 비행기와 기차를 이용하여 시간 지연을 측정할 실험에 대해서 “자신이 할 수 있는 범위 내에서 자신이 할 수 있는 방법을 찾는” 것이 기발하면서도 지혜롭다고 보았다. 비슷하게, 거리를 알고 있는 두 산의 정상에서 등불과 덮개를 사용하여 광속을 측정하려고 시도했던 갈릴레이의 실험도 결국 실패했지만 지혜로운 시도였다고 B교사는 생각하였다.

B교사: 우리가 할 수 있는 범위 내에서 모든 게 다 가능한 건 없잖아요. 그 때 이제 실험을 실제 하려면 자신이 가능한 범위 내에서 그걸 증명하기 위해서 실험 설정을 어떻게 해야 하는가. 기술의 한계를 극복하기 위해서. 시에네 우물로 지구의 크기를 측정하는 그 실험 진짜 대박인 것 같아요. 기술의 한계를 (극복하고), 너무 기발하잖아요. 너무 대단한 것 같아요. [면담]

11) 뮤온 입자 관측 실험은 1976년 유럽입자물리연구소(CERN, Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire)에서 수행된 실험으로, 평균 수명이 2.1μs에 불과하여 실험실 외에서는 관측조차 불가능한 뮤온 입자를 최첨단 기술을 갖춘 실험실에서 검출하여 시간 지연 효과를 입증해낸 실험이다.

특수상대성이론을 물리 수업시간에 배우는 목적은 “모든 관성계에서 빛의 속력이 동일함을 알고 시간 지연, 길이 수축, 동시성과 관련된 현상을 설명(Son, Lee, Moon, Park, Lee, and Jeon, 2017, p. 66)”하는 것이다. 과학을 지식으로서 배울 때는 과학적 개념을 잘 이해하고 그에 관한 현상을 설명할 수 있는 것이 배움의 목표가 되기에 충분할 수 있다. 그러나 과학을 지혜로서 배우고자 한다면 과학지식이 어떻게 지금의 모습을 갖추게 되었으며 그 과정에서 어떤 지혜를 찾을 수 있을지 탐구하는 것을 목적으로 해야 할 것이다 상대성이론은 인간이 직접 경험할 수 없고 당시로서는 실험해 볼 수도 없었던 빛의 세계를 탐구하는 과정이었다. 대부분의 인간이 평생 한순간도 경험하지 못할 광속의 세계를 탐구하기 위해, 과학자들은 기존의 이론을 합리적으로 의심하면서도 주어진 조건 내에서 가능한 방법들을 찾아내는 지혜를 발휘하였다. 과학의 발달사를 개별 인간의 행위에 초점을 맞춰 미시적으로 들여다보는 일은 과학지식이 소수의 천재 과학자들의 업적으로 이루어진 것이 아니라 수많은 보통 과학자들의 성공과 실패로부터 나온 작은 성과라는 것을 알 수 있다는 점에서 의미가 있다. 과학지식을 뛰어난 창의성의 결과로 보는 것과 여전히 진행 중인 탐구의 과정으로 보는 것은 ‘과학자들의 과학’과 ‘모두를 위한 과학’ 사이의 거리만큼의 차이가 있다.¹²⁾

2. 문제 해결에 유용한 방법

2000년대 중반 이후부터 미래사회의 인재를 육성하기 위한 교육적 목표로 핵심역량을 기반으로 하는 교육과정이 등장하였다. 핵심역량에 관한 논의에서 빠지지 않고 등장하는 문제해결력은 과학적 문제뿐 아니라 일상적·사회적 문제를 해결하는 데 요구되는 역량으로서 미래 사회를 살아갈 민주시민에게 요구되는 과학적 소양의 요건이 된다 (Norris & Phillips, 2003; Murcia, 2009). 자연에 대한 호기심과 탐구에서 시작된 과학은 그 자체가 자연에 대한 문제를 해결하는 일종의 방법론이다. 지금으로서는 당연하게 받아들여지는 자연 현상들, 예를 들면 무거운 물체와 가벼운 물체가 동시에 떨어지는 현상이나 전류가 흐르는 도선 옆의 나침반 바늘이 움직이는 현상은 중력과 전자기력에 관한 지식이 없었던 때에는 ‘문제 상황’으로서 과학자들에게 의문을 갖도록 만들었다. 과학의 발전사는 크고 작은 문제 상황들을 가장 합리적이고 타당한 방식으로 해결하면서 정립해온 과학적 방법론의 역사와 다르지 않다. 본 연구에서는 물리 수업 중에 공유되는 과학적 방법론으로서 ‘조건을 변화시켜보는 사고방식’과 ‘과학의 언어를 사용하는 소통방식’에 주목하였다.

가. 조건을 변화시켜보는 사고방식

물리학은 우리 주변의 물리적 현상들이 왜 그렇게 일어날 수밖에 없는지에 대해 알려준다. 많은 학습자들이 물리학을 어렵게 생각하고 일상과 동떨어져 있는 것으로 인식하지만 견고, 대화하고, 차를 마시기 위해 물을 데우는 사소한 행동들에도 모두 과학적 원리가 숨어있다. 그럼에도 학습자들이 학교에서 배우는 물리학과 자신의 삶이 동떨어져 있다고 느끼는 이유 중 하나는 막상 학교에서 배운 물리 지식만으로는 주변의 물리적 현상을 온전히 이해하기가 어렵기 때문일 것이다. 일상적으로 마주치는 과학적 현상들에 대해서는 마찰이나 공기저항을 무시할 수 없고 이상기체도 존재하지 않으며 건전지의 내부저항도 무시할 수 없다. 이 조건들을 모두 고려하여 현상을 설명하기에는 문제가 너무 복잡해진다. 학습자들이 물리적 원리를 비교적 쉽게 이해하기 위해서는 가장 간단한 상황을 가정해야 하지만 그럴수록 학습자들이 실제 경험하는 상황과는 멀어지게 된다. C교사는 역학적 에너지 보존법칙에 대해 설명하면서, 실제로 역학적 에너지가 보존되는 상황이 거의 불가능함에도 불구하고 학생들이 배워야 하는 이유에 대해 ‘간단한 것부터 해야 복잡한 상황을 다룰 수 있기 때문’이라고 언급하였다.

C교사: 공기저항이나 마찰력 없는 상황이 없어요. 근데 왜 배워? 성립도 안 되는데? 쉬우니까. 간단한 거부터 해야지, 복잡한 상황부터 배우면 아무것도 뭘 할 수가 없어. 일단 간단한 상황 먼저 보고 그다음에 저항이 조금 들어가면 거기에 대해서도 계산을 해주고, 마찰이 들어가면 좀 더 계산을 해주고 해야지. 우리 운동 배울 때도 실제로 등속도 운동한 적 별로 없는데 제일 간단하니까 그거부터 먼저 하고 그다음 가속운동하고 이렇게 갔잖아요. 이것도 그런 식이다. [수업]

이상(理想)적 상황에서만 보존되는 원리를 학생들이 알아야 하는 이유는, 그것이 더 복잡한 상황을 해결하기 위한 출발점의 역할이 되기 때문이기도 하다. 공기저항과 마찰력이 없는 상황에서의 운동에너지와 위치에너지 개념을 이해하고 그 합이 일정하게 유지된다는 법칙을 알게 되면, 왜 마찰력이 있는 상황에서는 에너지가 보존되지 않는지, 보존되지 않는 에너지는 어디로 가는지, 나아가 다양한 형태의 에너지가 우리 주변에서 어떻게 순환하고 소실되어 가는지에 대한 폭넓은 이해에 도달할 수 있다. 간단한 상황부터 시작해서 고려할 조건을 하나씩 더해가며 점차 복잡한 상황에 접근해 가는 방식은 과학자들이 실제 자연 현상에 대한 문제를 다룰 때도, 학생들이 과학을 배울 때도 유용하게 사용되었다. B교사의 ‘전류에 의한 자기장’ 수업도 마찬가지로 가장 단순한 상황부터 배우고 점차 복잡한 상황에 대해 이해하는 순서로 진행되었다.

B교사: 원형 전류는 자기장을 어떻게 유도하는가에 대한 거야. 자, 원형 전류라고 해서 어려울 거 하나도 없어. 이렇게 길게 늘어져 있던 도선을 어떻게 만들었을까? 원을 이렇게 동그랗게 만들었을까? ... 다음 거는 슬레노이드에 의한 자기장이다. 자칫하면 원형 전류랑 똑같다고 놓을 수가 있는데, 약간 달라. 원래는 원형 도선을 여러 개 섞은 거랑 똑같아. 세기는 약간 다른 점이 있는데 뭐냐면, ... 마지막 뭐냐면, 토로이드라는 거야. 이 슬레노이드를 휘어서

12) 역사에 이름을 남긴 과학자들은 보통 비범한 천재들로 그려진다. 하지만 그들의 삶을 더 깊이 들여다보면 성실함, 끈기, 집착력과 같은 태도가 뛰어난 업적을 뒷받침했다는 사실을 발견할 수 있다. 예를 들어 진화론의 창시자인 찰스 다윈(Charles Darwin, 1809~1882)은 번뜩이는 천재성을 보이는 영웅적 인물로 묘사되기도 한 반면(e.g. Holder, 1892), “느리고, 공들인 과학적 탐구(원문: *the slow, painstaking work of scientific investigation*)(Lightman, 2010, p. 341)”에 헌신하는 “인내심 있는 실험가(원문: *patient experimenter*)(Lightman, 2010, p. 347)”로 그려지기도 했다(e.g. Darwin, 1887). 다윈의 삶에서 지혜를 찾고자 한다면 그의 출중한 천재성보다는 오랜 탐구의 과정을 지속해 온 끈기와 노력에 주목해야 하지 않을까.

붙여버려. 그래서 이렇게 팽팽하게 감긴 거를 원형 형태로 서로 붙여버리는 거를 토로이드라고 한다. [수업]

‘전류가 만드는 자기장’ 단원을 가르칠 때 직선 전류로부터 원형 전류, 코일 형태의 솔레노이드를 거쳐 토로이드에 이르는 순서로 설명하는 방식은 B교사만의 독특한 방식이 아니라 오래전부터 교과서에서 제시한 정형화된 순서이다. 학습자의 이해를 돕기 위해 쉬운 것부터 가르치는 것은 당연할 수 있지만, 그저 ‘쉬우니까’ 먼저 배우는 것과 ‘복잡한 상황을 이해하기 위한 출발점으로서’ 먼저 배우는 것에는 차이가 있다. 복잡한 상황을 가장 단순한 상황으로 환원시켜 거기에 조건을 더해가며 문제에 접근하는 방식은 문제 상황의 이해를 도울 뿐만 아니라 새로운 생각을 가능하게 한다. A교사와 B교사의 상대성이론 수업에서는 새로운 조건을 덧붙이면 어떻게 되는지 묻는 학생들의 질문이 종종 등장하였다.

학생: 선생님, 우주선이 위로 가면 빛이 휘어요?

B교사: 아, 여기 이 상태에서 우주선이 위로 가면? 어떻게 될까?

학생들: 이렇게, 이렇게... (손가락으로 방향을 그리며) 휘어질 것 같은데

B교사: 우주선이 위로 가면 여기 안에 있는 사람이 어떻게 보이겠어? 그냥 직선으로 보이지. 근데 밖에 있는 사람이 관찰을 하게 되면, 이렇게 대각선으로 가게 돼. 아까 (누군가) 휘어진다고 했는데, 실제로 휘어지는 경우 있어. 가속운동을 할 때 가속운동을 하면 빛이 실제 휘어지면서 가는 걸 확인할 수 있어. [수업]

특수 상대성이론 수업에서는 보통 외부 관찰자 앞을 가로로 지나가는 우주선을 예시로 들어 사고실험을 진행한다. 우주선 외부의 관찰자의 입장에서 볼 때 우주선의 진행 방향축과 우주선 내부에서 발생한 빛의 진행 방향은 보통 나란한 것으로 설정되는데, B교사가 가르치는 반의 한 학생은 수업 도중 우주선이 ‘위로 가는’ 상황, 즉 관찰자로부터 수직 거리가 멀어지는 방향으로 우주선이 움직일 때의 상황에 대해 질문을 던졌다. 이것은 우주선의 운동 방향과 빛의 진행 방향이 같은 축에 놓여있을 때의 상황으로부터 우주선의 운동 방향이 빛의 진행 방향과 수직하게 놓여있을 때의 상황으로 문제의 조건을 변화시킨 것에 해당한다. 이렇게 되면, 관찰자가 어느 쪽 빛이 먼저 방출되었는지를 인지하는 문제에서 빛의 경로가 어떻게 바뀌어 보이는가 하는 문제로 변하게 된다. 잘 알려져 있다시피, 위로 올라가는 우주선 내부에서 우주선의 운동 방향과 수직한 방향으로 빛이 방출되었을 때 빛의 경로가 어떻게 보이는지 생각해보는 사고실험은 일반 상대성이론의 핵심인 중력-관성력 등가 원리로 이어진다. 조건을 하나씩 더해가는 것과 조건을 조금씩 변화시켜보는 것은 모두 문제 상황을 명확히 이해함으로써 궁극적으로 문제 해결로 이어지는 데 도움이 된다. A교사의 수업에서도 다음과 같이 한 학생이 문제 상황의 조건을 변화시키는 경우에 대해 질문하였다.

A교사: 전자를 가지고 실험했어요. 에너지를 계속 투입해서 일을 계속해줘. 그랬더니 전자의 속도가 빨라지긴 해. 어느 정도까지는. 그런데 일정 정도 지나고 나면 속도가 안 빨라져. 이걸 뭐 의미해? 질량이 늘어나고 있다는 걸 의미하는 거예요. 그래서 상대론적 질량 얘기가 또 나오는 거지.

학생: 선생님, 그럼 빛의 속도에 도달하는 순간 질량이 혹시 무한대가 돼요?

A교사: 그렇겠죠. 만약 한다고 하면. 근데 그럴 수가 없죠. 그러니까 (빛의 속도에) 도달하지 못하는 거겠지. [수업]

어떤 물체에 에너지를 계속 가하면 물체의 속도는 점점 빨라지지만 절대 광속을 넘을 수는 없다. 투입되는 에너지가 물체의 질량 증가로 이어지게 되고, 그렇게 되면 물체의 속도를 증가시키기가 더욱 어려워져 광속에 가까워지지만 할 뿐 광속 이상으로 빨라지는 않는다. 위의 학생은 물체가 ‘빛의 속도에 도달하는 순간’이 가능한지 여부와 상관없이 물체의 속도를 광속이라는 극한값으로 보냈을 때 물체의 질량에 대해 질문하였다. 조건을 극한값으로 변화시켜 생각해 보는 시도는 위의 경우에, 속도와 질량의 관계에 있어서 수학적 의미와 물리적 의미의 차이를 명확히 하는 데 도움이 된다. 위 학생의 질문에 대한 A교사의 대답에서 “그렇겠죠”는 ‘수학적으로’ 그렇다는 의미이고, “그럴 수가 없죠”는 ‘물리적으로’ 불가능하다는 의미이다.¹³⁾ 수학은 여러 물리량 값들의 관계식을 표현해 줄 뿐만 아니라 그 자체로 물리적 의미를 간명하게 드러내 주는 역할도 한다. 예를 들어 특수상대성이론이 시사하는 중요한 결과 중의 하나인 $E=mc^2$ 이라는 공식은 물체의 총 에너지가 질량과 광속 제곱을 곱한 값과 같다는 것을 의미하면서 동시에 질량이 에너지로, 또는 그 반대로 변환될 수 있다는 물리적 의미를 내포하고 있다. 물리학적 원리를 나타내는 공식을 수학적으로만 이해하거나, 공식을 알지 못하고 정성적으로만 이해하는 것 모두 충분하지 않다. 문제 상황의 물리적 조건을 변화시켜보거나 -우주선의 방향을 바꿔 생각해보기- 수학적 조건을 변화시켜보는 -물체의 속도를 광속 값으로 바꿔 생각해보기- 사고방식은 과학지식을 더욱 깊이 이해하고 정확히 적용하는 데 도움이 될 수 있다.

복잡한 조건을 제거하고 이상적 상황을 가정하여 문제에 접근하거나, 문제 상황의 물리적 조건과 수학적 조건을 변화시켜 생각해 보는 것 모두 과학적 문제 해결에 유용한 방법론적 지혜로 제시될 수 있다. 물리 수업 중에 학생들은 교사가 의도하지 않았는데도 여러 조건을 변화시켰을 때의 현상에 대해 질문하고 논의하는 모습을 보였다. 이는 상황 조건을 변화시켜 생각해 보는 것이 방법론적 지혜이기 전에 인간의 호기심에서 기인하는 자연스러운 사고과정임을 보여준다. 그럼에도 이런 사고방식을 과학으로부터 배울 수 있는 방법론적 지혜로서 제안하는 이유에는 두 가지가 있다. 첫째로, 과학자들은 문제 해결에 다가가기 위해 어떤 조건을 어떻게 변화시켜야 하는지를 직관적으로 알고 의도적으로 조건들을 통제하였다는 점이다. 단순히 ‘이렇게 하면 어떻게 될까?’라는 호기심에서 이것저것 조작해 보는 것도 사고를 확장하는 창의적 방법일 수 있다. 하지만 근거를 가지고 체계적으로 조건을 통제해가며 문제 해결이라는 목적을 향해 가는 사고과정은 이론적 타당성을 높이는 지혜로운 방법이 된다. 둘째로, 조건을 변화시켜 올바른 결과를 유추하는 데에는 논리적 사고력과 철저한 검증 과정이 뒤따라야 한다는 점이다. 하나의 문제 상황에 대해 수많은 방법으로 조건을 변화시켜볼 수는 있다. 하지만 그중에서 어떤 것이

13) 이렇게 해석한 이유는 다음 차시의 수업에서 A교사가 로렌츠변환을 한 수학적 설명 과정에서 다음과 같이 언급하였기 때문이다. “사실 (입자의) 속도가 광속에 가까워졌을 때 운동에너지가 무한대가 된다는 건 수학적으로 가능하지만 물리학적으로 불가능하죠. 그러니까 빛의 속도로 갈 수 없다는 거지. 뭐가 있을 때? 질량이 있을 때.”

유용한지, 그리고 그렇게 변화시켰을 때의 결과는 어떻게 되는지를 과학적으로 생각할 수 있는 능력은 과학자들이 터득한 지혜로 보아야 할 것이다.

연구자: (물리 수업시간에 언급된) 아인슈타인이 어떤 점이 대단한 것 같아요? 상대성이론 말고 아인슈타인에게 배울 점이 있다고 하면 뭐가 있을까요?

A2학생: 사고실험을 잘 할 수 있는 방법 같은... 약간 집중력이 필요한 것 같아요. 머리가 좋기도 그 주제에 대한 관심이나 집중력이 없으면은 변수 하나, 둘씩은 꼭 놓치고 지나가거든요. 저도 사고실험을 자주 하는데, 항상 집중을 안 하면 다른 사람하고 그 모델에 대해서 상의를 할 때 제가 놓치는 게 하나씩은 있더라고요. 그래서 놓치지 않고 넘어가지 않는 그런 능력이 (대단하다고 생각해요).

나. 과학의 언어를 사용하는 소통방식

과학은 과학 공동체에서 합의된 기호와 약속을 사용하여 소통하는 학문이다. 특정 과학 개념이 무엇을 의미하는지 상식적인 수준에서 이해하기 위해서는 정성적인 설명만으로 충분한 경우도 있다. 하지만 물리량 간의 수학적 관계를 원리로 표현하기 위해서는 과학에서 사용되는 기호와 약속들을 숙지하고 있어야 한다. ‘과학적 소양(scientific literacy)’의 ‘literacy’가 본래 문해력을 의미한다는 사실을 상기해볼 때, 전 세계의 모든 과학자가 공통으로 사용하는 과학 기호와 약속들에 익숙해지는 것은 과학 학습의 기초이자 출발점이 된다. 이런 관점에서 과학수업은 학습자들이 과학의 언어를 배우고 그것을 적절하게 사용하는 방법을 알게 하는 훈련 과정이기도 하다(Ha, 2008). 그러나 개별 물리량의 의미를 이해하는 것도 어려워하는 학생들에게 기호들의 조합으로 이루어진 공식을 기억하게 하는 것은 과학에 대한 흥미를 더욱 떨어뜨리는 요인이 되기도 한다.

C교사: 힘을 줘서 물체를 이동시키는 걸 한 글자로 뭐라고 하더라?

학생들: (여러학생들이 ‘힘’ 또는 ‘출’이라고 대답)

C교사: 힘을 줘서 물체를 이동시키는 걸 한 글자로 뭐라 하더라?

학생들: (한 학생만 ‘출’이라고 대답)

C교사: 물체에, 힘을 줘서, 물체를, 이동 방향으로 이동시키는 거. 한 글자로

학생들: 일, 일~.

C교사의 수업에서 나타난 위의 대화는 학생들이 물리적 개념과 물리량의 단위를 명확히 구분하고 있지 못하다는 것을 보여준다. 물리량을 나타내는 기호와 단위는 모두 영어 대문자나 소문자, 또는 그것들의 조합으로 이루어져 있어서 로마자 표기에 익숙하지 않거나 개념적 이해가 충분하지 않으면 기호의 사용이 오히려 과학을 더욱 어렵게 느껴진다. C교사의 수업에서는 역학적 에너지 보존법칙에 관련된 물리 기호들과 공식을 교사가 여러 차례에 걸쳐 반복해서 알려 주고 있었다. 학생들은 질량을 ‘m’으로, 중력가속도를 ‘g’로 나타내는 것 따위의 물리 기호들에 쉽게 익숙해지지 않는 듯 보였다.

C교사: 제일 꼭대기 높이가 몇인지 생각해보. 그리고 포텐셜에너지를 구해.

학생1: 이거 식을 써놔야겠다.

C교사: (학생의 활동지 한쪽을 가리키며) 여기 써 있어.

학생1: 영어라서 잘 못알아 먹어요.

C교사: (그 옆을 가리키며) 여기 한국말로도 써 있잖아.

학생2: 선생님, 이게 뭐예요? 운동에너지예요?

C교사: 이게 운동에너지. 1/2, m은 질량, v가 속도, 포텐셜에너지는 m은 질량, g는 중력가속도, h는 높이...

C교사는 과학과 거의 무관한 진로를 선택하게 될 학생들에게도 물리 기호와 단위, 약속과 같은 과학자들의 언어를 강조하여 가르치고자 하였다. 물론 B교사와 A교사도 물리 기호와 단위, 약속들을 수업 중에 학생들에게 설명하였지만, C교사는 왜 그런 기호와 약속이 정해졌는지 그 이유와 맥락을 함께 언급하였다는 점에서 차이가 있었다. C교사는 전기장 벡터의 방향을 ‘양전하가 받는 힘의 방향’으로 설정한 것이 과학자들이 공유하는 ‘보이지 않는 물리적 개념을 시각화할 때의 약속’임을 알려주고자 하였다.

C교사: (전기장이) 안 보여요. 안 보이는데, 알고 싶어. 눈으로 (볼 수 있게) 표현해 주고 싶어. 어떤 전하가 있으면 그 주변에 전기장이 생겨. 그 전기장을 표현해 주고 싶은 거야. 그럼 어떻게 표현을 하기로 했냐면, 과학자들끼리 어떻게 표시하기로 했냐면, 어떤 전하 주변에 양전하를 놔뒀을 때, 그 양전하가 받는 힘의 방향을 표시해 주자, 그걸로 전기장을 한 번 표현해 보자, 이렇게 된 거야. [수업]

C교사는 물리 기호를 설명할 때도 그것이 과학자들의 소통방식이자 학문적 언어로서의 의미가 있다는 것을 강조하여 설명하였다. 그는 과학자들이 추상적인 과학 개념을 기호로 표기하는 방식과 물리적 현상을 수식으로 기술하는 방법의 의미가 무엇인지 학생들에게 알려 주고자 하였다. 물리 기호에 친숙하지 않은 학생들에게 과학의 언어가 갖는 유용성을 깨닫게 하기 위해서다. 다음은 전자기력 공식

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

의 표기법에 대해 설명하는 C교사의 수업 중 발언이다.

C교사: 전기력은 거리 제곱 분에 A의 전하량 곱하기 B의 전하량. 이렇게 (우리말로) 써놓으면 좋겠는데, 외국 사람들이 보면 뭐 말인지, 까만 색은 글씨고 흰색은 칠판이고 그럴 거 아냐. 그래서 다 같이 볼 수 있는 용어로, 전기력은 힘이니까. 힘은 보통 밀로 써요, ‘F’. 거리는 밀로 쓰냐면 ‘r’로 쓰거든요? A의 전하량은 ‘q₁’ 이렇게 써요. [수업]

쉽게 일반화할 수는 없겠지만 A교사나 B교사와 비교했을 때 특성 화고에서 근무하는 C교사가 과학 언어의 의미와 이유에 대해 더 자주 설명하는 것은 과학에 대한 흥미와 성취도가 낮은 학습자 집단의 특성에서 기인한 것으로 보인다. 졸업 후 진로를 고려해 볼 때 특성화고의 학생들은 과학지식이나 과학 법칙을 깊이 이해하는 것보다는 그것의 기술적·공학적 적용 방법을 아는 것이 실제적으로 더 중요하다. C교사는 그의 학생들에 대해 “문자로 관계식을 표현하고 숫자를 대입하는 훈련이 되어 있지 않다.”고 파악하였다.

C교사: 우리 학교의 전공 특성상 오히려 단위, 표기법 등에 생각보다 노출이 많이 되어 있음. 그러나 문자로 관계식을 표현하고 거기에 숫자를 대입하는 훈련이 되어 있지 않아 공식을 유도하는 과정에 따라오지 못하거나 공식을 외웠더라도 값을 대입할 줄 모르는 아이들이 많음. [서면 응답]

C교사의 학생들은 연구자가 참관한 4차시의 물리 수업 동안 다른 두 학교에 비하여 수업 참여도가 특별히 낮아 보이지 않았다. C교사의 질문이나 발언에 적극적으로 반응하였고 학생들 간의 상호작용도 꽤 활발하였다. 다만 수업 내용을 이해하고, 공식을 기억하거나 문제를 푸는 데에서는 어려워하는 모습을 종종 보였다. C교사는 학생들에게 물리 기호를 정확히 기억할 것을 요구하기보다 계속해서 반복적으로 설명해주면서 과학적 언어의 유용성을 알려주고 실제로 학습자들의 삶에도 도움이 될 수 있다는 것을 알려주고 싶어 하였다. 과학적 언어의 이유와 의미를 여러 번 강조하여 설명하는 이유에 대해 C교사는 “생활에서 늘 보고”, “직업 세계에서 필요하며”, “아이들의 안전에도 관련”되는 등 학생들의 실제 삶에 관련되기 때문이라고 답하였다.

C교사: 이런 거 되게 중요하다고 생각해요. 단위에 대한 약속. 의사소통. 과학자들이 이런 식으로 의사소통을 한다. 그런 얘기를 초반에 많이 하고 (있어요). 그게 꼭 자기 전공이나 일이란 관련되지 않아도 생활에서 늘 보니까. [면담]

C교사: 특히 우리 학교 아이들의 경우에 기술과 관련된 부품을 고르고 조립하고 설계하는 훈련을 많이 한다. 과학 공동체 내의 약속을 잘 모르는 경우 생기는 실제적인 문제를 바로 경험하는 아이들이기 때문에 좀 더 정확히 훈련하는 것이 필요하다고 생각한다. 이러한 약속들이 어떻게 정해진 것인지를 알아두는 것이 학생들이 나가게 될 직업세계에서 꼭 필요하며, 아이들의 ‘안전에도 연결될 것임 [서면 응답]

C교사가 과학적 기호와 약속들을 강조하여 가르치는 이유는 학생들이 과학을 더 깊이 이해하도록 하기 위해서라거나 어려운 물리 문제를 풀 수 있게 되기를 바라서가 아니다. 과학의 언어와 약속들에 어느 정도 능숙해지는 것이 학생들의 삶에 직접적으로 도움이 된다고 생각하기 때문이었다. 실제로 면담에 참여한 C2학생은 알파벳 기호가 맥락에 따라 다른 의미를 가지며 읽는 법도 다르다는 것을 알게 되었다는 점을 ‘과학을 배워서 좋은 이유’로 꼽았다.

연구자: 과학을 배우면서 지식 말고 깨달은 게 있어요? 과학을 배워보니까 이런 데 좀 도움이 되더라...

C2학생: 살면서 딱히 그렇게 도움됐던 거는... 아, 미터(meter), 몇 미터 이런 거 많이 나오잖아요. 기호 그런 거. 약간 비슷한 개념이긴 한데 무식해 보이진 않으려고 하고. m, 그거 ‘엠’이라고 안 하고 ‘미터’라고 하고. ... ‘미터’라고 말하는 게 훨씬 낫잖아요, ‘엠’보다는. m은 다른 의미에서 쓸 수도 있는데 ‘미터’는 딱 거기에서 약자로만 m 이렇게 ‘미터’로 쓰이는 거니까. 그런 면에서 좀 편하고 좋은 것 같아요. 구분하기 쉬우니까. [면담]

기호와 단위, 약속을 사용하는 과학의 언어는 과학자들 간의 유용

한 소통방식이자 과학 원리를 명료하게 나타내주는 표현 방법이다. 특히 과학 용어를 기호로 표현하는 것은 용어가 갖는 일상적 의미를 제거하고 과학적 의미로만 사용한다는 암묵적 동의를 내포하고 있다. 예를 들어 ‘일’을 ‘W’로, ‘힘’을 ‘F’로 기호화(記號化)하는 것은 각각의 의미를 $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$ 의 관계에 있는 물리적인 의미로 한정하여 사용한다는 뜻을 담고 있다. 즉, 기호화는 표기법을 간단하게 해줄 뿐 아니라 불필요한 의미의 소거를 돕는다. Lemke (1998)은 이와 관련하여, 예를 들어 과학적 개념인 ‘에너지’를 나타내는 기호는 다양하게 존재할 수 있지만 어떤 기호를 쓰더라도 ‘에너지’라는 같은 과학적 개념을 의미하게 되는 것은 그것의 실재성 때문이 아니라 각각을 동등하게 인식하는 법을 사용자 공동체가 학습했기 때문이라고 설명하였다.

과학의 언어를 습득한다는 것은, 모든 언어가 갖는 의미가 그렇듯이, 과학 공동체의 일원으로서 과학적 대화나 토론에 참여할 수 있는 능력을 갖추었다는 것을 의미한다. 과학의 언어를 숙지하지 못하고 일상적인 용어로만 자연 현상을 이해한다면 원리로부터 현상을 예측하는 과학적 사고력을 기대하기 힘들다. 하지만 살펴본 것처럼 과학에서 사용되는 기호와 약속을 습득하는 과정은 과학에 대한 흥미와 성취도가 낮은 학생들일 경우, 반복해서 알려줘도 익숙해지기 어려운 과정이기도 하다. 반면 과학을 좋아하고 잘하는 학생들은 과학의 언어가 왜 생겨나게 되었고 지금과 같은 모습으로 발전해 왔는지를 생각해볼 기회가 거의 없다. 어떤 경우이든, 기호와 약속이 과학지식을 ‘어렵지만 간명하게’ 표현하는 수단으로서만 존재하는 것이 아니라 과학의 발달을 이끈 유용한 방법론적 지혜가 될 수 있음을 아는 것은 중요해 보인다. “과학의 언어들(the languages of science)(Lemke, 1998)”은 학생들이 과학 활동을 수행할 때 효율적으로 소통할 수 있는 수단이자 과학 학습의 목표 그 자체가 된다(Ha, 2008). ‘과학의 언어’를 과학으로부터 배울 수 있는 방법론적 지혜로 받아들인다면, 그것을 익히고 적절히 사용하는 것을 넘어서 과학적 개념이 발달함에 따라 어떻게 변해왔는지, 또 학습자의 삶에 어떤 영향을 미치는지를 함께 공유해보는 기회가 필요할 것이다.

3. 과학과 인간의 관계에 대한 고찰

과학을 배우는 것이 개인의 삶에 어떤 의미가 있는지, 나아가 과학과 인류가 어떤 관계를 맺고 있는지 고찰해보는 것은 과학기술이 빠른 속도로 발전하고 있는 미래 시대에 유용한 통찰을 준다. 앞서 논의한 ‘과학적 탐구에 필요한 태도’와 ‘문제 해결에 유용한 방법’이 각각 과학자들과 과학적 방법론에서 찾아볼 수 있는 지혜라고 한다면 ‘과학과 인간의 관계에 대한 고찰’은 과학을 배우고 향유하는 모든 사람에게 요구되는 지혜라고 볼 수 있다. 지식 이전의 과학에서는 과학 공동체의 지혜로운 모습들을 발견할 수 있었고, 지식 이후의 과학에는 과학 공동체를 넘어서 과학을 향유하고 사용하는 모든 사람에게 지혜가 필요하다. 과학이 세상에 대한 이해를 제공하는 것에서 그치지 않고 인류의 좋은 삶에 기여하기 위해서는 지식 이후의 과학이 지혜로워야 하며 이것은 과학 공동체 내부의 사안이 아니라 모두의 책무이자 과제로 여겨진다. 과학교육에서는 과학기술과사회(STS) 교육과 과학기술관련사회쟁점(SSJ)¹⁴⁾ 교육이 지식 이후의 과학에 대해 전심히 다루고 있다. 특히 사회과학적 쟁점을 활용한 과학교육은 과

학이 이야기할 수 있는 논쟁적인 사안들에 대해 윤리적이고 현실적인 가치를 생각해보게 함으로써 과학을 활용하는 데 필요한 지혜를 얻게 하는 데 도움을 줄 수 있다.

가. 과학과 사회의 관계에 대한 이해

당연한 얘기처럼 들릴 수 있으나 과학은 어떻게 사용하느냐에 따라 해악이 될 수도 있고 이로움이 될 수도 있다. 과학기술을 적절히 사용하면 재난이나 사고를 예방할 수 있지만 편리함과 효율성만을 좇다 보면 지구온난화와 같은 거대한 위협을 초래하는 데 영향을 미치기도 한다. 과학지식은 일견 사회문화적 가치들로부터 독립적인 듯 보이지만 현대 사회에서 과학기술이 경제, 정치 및 인간 복지에 미치는 영향력이 커질수록 과학지식의 가치중립성이 갖는 설득력은 점차 약해지고 있다. 본 연구에 참여한 B교사의 다음 발언은 과학의 가치중립성과 과학자의 사회적 책임에 대해 모든 교사가 분명한 입장을 가지고 있지는 않다는 점을 보여준다.

B교사: 저도 왜 애들한테 항상 중립적이라고 얘기를 하는지 모르겠는데, 사실 개인적인 생각은, 어쨌든 과학자도 자신이 가져올 것에 대한 예상을 하고 인지를 해야 한다고 생각을 하거든요. 황우석 사태를 겪어서인지 그랬으면 좋겠다고 생각을 하는데, 이상하게 애들한테 얘기할 때는 중립적이어야 한다고 얘길 해요. 애들한테는 순수하게 우선 과학을 하게 하고, 그걸 활용하고 이런 문제는 좀 나중에 해도 되지 않나? [면담]

B교사는 과학자의 윤리적 태도와 사회적 책임과 관련하여 사회적으로 이슈가 되었던 사건을 겪으면서 과학의 실천적 측면이 가치의 문제로부터 독립될 수 없다는 점을 인식하고 있었다. 하지만 그는 자신의 생각과는 다르게 학생들이 과학을 가치중립적인 것으로 인식하기를 바라고 있었다. 때문에 과학을 활용할 때 고려해야 할 여러 가지 문제들은 나중에 생각하고 우선은 ‘순수하게’ 과학을 공부하길 원하였다. 과학과 사회적 가치의 관계에 대해서 B교사가 가지고 있는 이런 모순적인 생각은 B교사가 둘의 관계에 대해 제대로 이해하고 있지 못해서가 아니라 오히려 둘의 관계가 정답을 내리기 어려운 관계에 있다는 사실을 보여주고 있다. 과학이 가져올 사회적 영향력을 지나치게 고려한다면 과학지식은 선택적으로 발전하게 되고 학문적 성취의 속도는 더디질 것이다. 반대로 과학이 사회적 가치를 전혀 고려하지 않는다면 예측하기 어려운 위협이 발생하거나 악용의 여지가 생길 수 있다. 어느 쪽이 더 낫다고 분명히 말할 수 있는 정답은 존재하지 않는다.

과학은 증거를 바탕으로 사실 명제를 다루는 학문이기에 정합성, 명료성, 예측 가능성 같은 인식적 가치들을 본질적으로 수반하고 있다(Lacey, 1999). 이런 인식적 가치들은 과학지식 자체에 내재되어 있으면서 과학적 실천을 과학지식으로 이끄는 규범으로서의 역할도 한다. 따라서 인식적 가치를 포함하여 넓은 의미의 가치에 대해 말한

다면 과학은 결코 가치중립적일 수 없으며 과학이 가치중립적이라고 말할 때의 ‘가치’는 인식적 가치들을 제외한 사회문화적 가치들 -도덕적, 정치적, 종교적 가치 등- 을 의미하는 것으로 볼 수 있다(Hong, 2004). 요컨대 과학지식은 그 자체가 사회문화적 가치들에 경중을 부여하지는 않지만, 기술을 통해 실체화되거나 정책 결정의 근거로 사용되면서부터는 인간이 부여하는 가치의 문제로부터 자유로울 수 없다. 이 때문에 어떤 목적을 위해 과학지식이 사용될 것인가 하는 문제가 중요해진다. 과학이 인간 사회에 미치는 영향에 관한 교사들의 언급은 물리 수업 중에 빈번히 나타났다.

B교사: 이게 바로 질량에너지 동등성이고, 여기서 뭐가 나오는 거야? 핵폭탄이 나오게 되는 거지. 사실, 그래서 아인슈타인이 핵폭탄을 만들었다고 했는데 만든 게 아니라 (기여했어). 핵폭탄을 만드는 데 이런 추측 과학자들이 있었어, 따로. 근데 아인슈타인은 뭘 했어? 되게 안타까워했지. 핵폭탄이 만들어지는 걸 되게 안타까워 했고, ... [수업]

A교사: 시간에 관련된 모든 기술의 집약체는 GPS입니다. GPS는 특수상대성이론과 일반상대성이론이 다 접목된 시계예요. 왜 그렇겠어? 처음에 위성에 시계를 실은 다음에 쏠 거잖아. 위성을 쏠 때 엄청나게 빠른 속도로 쏘겠죠. 그러면 사람이 가서 나중에 그 시계를 조작할 수는 없잖아요. 그러니까 처음에 설정할 때부터 시간 지연(time dilation) 효과를 고려해서 시계를 미리 맞추는 거야. 그래서 우리가 다 정보를 주고받고 하고 있잖아요. 그래서 GPS는 상대성이론의 집합체예요. [수업]

상대성이론이라는 과학지식은 전쟁의 목적에 따라 핵무기의 개발로 이어지기도 하고 위성항법 시스템에 적용되어 생활의 편리함을 가져다주기도 한다. 과학지식 자체는 윤리적 판단의 대상이 되지 않지만, 그것을 어떻게 적용할 것인지에 대한 문제는 수많은 이해관계와 가치들이 고려되어야 한다. 과학은 자연을 설명하고 예측하기 위한 학문적 목적 외에도 새로운 기술의 개발과 인류의 복지 증진이라는 실용적 목적 또한 가지고 있기 때문이다. 이런 측면에서 A교사는 미래에 과학자가 될 학생들에게 과학자들이 하는 일의 가치와 의미를 사회적 기여의 측면에서 알려 주고 싶어 하였다. 과학을 하는 사람으로서 과학이 가져올 사회적 변화에 대해 인식하는 것은 그에게 중요한 문제였다.

A교사: 과학고 학생들은 계속 연구를 진행할 애들이고 앞으로 자기가 했던 연구가 어떤 가치를 지니는지, 지금 얘기하는 상대성이론 같은 거는 정말 일상생활과 상관없다고 생각할 수도 있는 그런 이론적 연구인데 그게 사실 그렇지 않다. 실용적으로 다 얼마든지 쓰일 수 있고, GPS는 약간 그런 목적이 의미가 있는 것 같아요. 그게 그만큼 중요하다는 걸 알았으면 좋겠어서... [면담]

A교사의 학생들은 졸업 후 대부분이 과학과 관련된 전공 분야로 진학하게 된다. 그는 과학자가 하는 일이 사람들의 일상생활에 실질적으로 기여할 수 있다는 점을 보여줌으로써 학생들이 자신의 진로에 자부심을 갖게 되었으면 좋겠다고 생각하고 있었다. 과학이 일상생활에 유용한 기술로 활용될 수 있음을 아는 것은 미래의 과학자가 될

14) STS(Science, Technology and Society)와 SSI(socioscientific issues)는 국내 학자에 따라 다양하게 번역된다. 본 논문에서는 『과학기술과 사회(Hong, Seo, Chang, & Hyun, 2015)』와 『SSI교육이란 무엇인가(Lee, 2018)』에서 사용된 우리말 표현을 따랐다.

학생들에게 자부심을 갖게 함과 동시에 책임감을 심어줄 수 있다. 과학의 유용성을 아는 것은 과학과 인간의 관계를 이해하는 한 측면으로서 과학을 학습자들이 보다 가깝게 느끼고 긍정적으로 인식하도록 해준다. 과학지식이 일상생활에 유용하게 쓰이고 있는 예시는 질량-에너지 동등성에 관한 B교사의 수업 중에도 등장하였다.

B교사: 이 세상에서 질량 1g이 사라질 때, 이게 얼마의 에너지로 변할까? ... 전구 하나가 대략 45W야. 그러면 이걸로 전구 몇 개나 켤 수 있다면 대략 10^{12} 개를 켤 수 있지, 1초 동안 약 2조 개의 전구를 한 번에 켤 수 있어. ... 우라늄과 플루토늄, 개네들은 실제 질량이 사라져, 핵분열을 일으키면. 그래서 그 과정에서 나오게 되는 에너지로 지금 이 교실에 불 다 켜고 있잖아. 그래서 이게 아주 어마어마한 에너지를 사용하고 있다. 여기까지가 질량 에너지 동등성이야. [수업]

방사능 물질이 핵분열 과정을 거치면 매우 큰 에너지가 발생한다는 과학적 사실은 그 에너지를 어떤 목적을 가지고 사용하느냐에 따라 인간의 생활을 편리하게 만들어주기도 하고 때로는 큰 재앙으로 다가 오기도 한다. B교사는 질량-에너지 동등성이라는 과학지식이 핵폭탄의 원리가 되었다는 점도 지적하면서 과학지식이 활용되는 예시의 밝은 면과 어두운 면을 함께 제시하였다. 하지만 그에게 더욱 중요했던 것은 과학지식이 사회적으로 어떻게 활용되든지 간에 과학자들의 학문적 독립성은 보장되어야 한다는 생각이었다.

B교사: 과학적 이론, 과학적 원리라는 거 자체가 이런 사회문제를 직접적으로 야기한다기보다는 그걸 쓰는 사람, 사회적인 문제가 연관되어 있지, 과학자들의 이론은 죄가 없다. 그 자체만으로는 어쨌든 중립적이어야 한다. 아인슈타인을 되게 변호하게 되는 것 같아요. 일반 대중들한테는 핵폭탄 하면 아인슈타인이니까. [면담]

과학자의 사회적 책임을 둘러싼 담론에 대해서 B교사는 스스로 느끼기에도 명확하지 않은 입장을 취하고 있었다. 과학을 가르치는 교사에게도 과학기술과 인간사회의 관계는 여전히 고민되는 주제이며 확실한 답을 내리기 힘든 문제이다. 새로운 과학지식이 발견되었을 때, 그것이 어떤 이로움과 해악을 가져올지 예상하는 데에는 한계가 있을 수밖에 없기 때문이다. 과학지식은 대부분 과학 공동체 내에서 생겨나지만 과학지식을 응용하고 사용하는 과정에는 과학자 외의 많은 사람들이 관여하게 된다. 지식 이전의 과학은 과학자들이 주도 하지만 지식 이후의 과학은 누구에게나 공유된다. 과학자들의 순수한 학문적 호기심이 반드시 더 나은 세상으로의 변화로 이어진다는 보장은 없다. 과학자가 가져야 할 사회적 책임감은 어느 정도가 적당할까?

A1학생: 가끔은 그냥 아무것도 안 하는 게 훨씬 낫지 않을까 이런 생각도 드는데, 뭔가 하면 어떻게든 나쁘게 쓰일 것 같아서. 아무리 좋은 쪽으로만 되는 그런 게 없으니까. 그건 계속 고민 중이에요. 근데 보통 바람직한 거는 일단 개발하고, 최대한 그걸 잘 제어를 하자 이런 게 제일 바람직한 거긴 한데, 어떻게든 개발은 하게 되지 않을까... 어차피 누군가는 아마 발견할 거예요. 좀 늦춰지는 것뿐이지 어차피 일어날 일이긴 해서... 사실 인간욕망 얘기가 나와서 그런데, 기술을 개발할 수 있는데 안 하는 것도 참기 힘든 것

같아요). 기술 개발하는 것 자체가 할 수 있는 거니까 어떻게든 하겠죠 아마. [면담]

A1학생은 면담에서 과학자의 연구 자율성을 보장하고 이후 과학지식이 적용되는 과정에서 규제가 필요하다는 생각을 피력하였다. 그는 과학지식을 유용한 방식으로 적용하는 것만큼이나 중요하게 고려해야 할 것은 과학자들의 연구에 대한 본능적 욕구라고 생각하였다. 과학이 지금과 같이 발전하게 된 기저에는 과학자들의 호기심과 과제집착력, 이론의 통일성을 향한 미학적 관심 등이 있었다. 사회적 책임감과 학문적 욕구가 충돌할 때, 과학자들은 어떤 선택을 해야 할까? 그런 선택에 대한 고민은 과학자들만의 것인가? 과학자들이 고려해야 할 사회문화적 가치들은 무엇이 있는가? 이런 고민들은 과학이 사회의 여러분야들과 맺고 있는 긴밀하고도 복잡한 관계성에 바탕을 두고 있다.

A2학생: 과학자로서 그런 영향을 생각해 봐야 될 것 같아요. 제가 생물의 수명하고 에너지에 관심이 많거든요. 그 두 가지의 토크에 대해서. 근데 만일 가능성이 희박하지만 열에너지를 전기에너지로 쉽게 바꿀 수 있는 그런 기술이 개발되면 되게 혼란스러울 거 아니요, 대부분의 석유라든지 이런 게 필요가 없어지고 그러다보면 세계 시장에 혼란도 올 거고 ... (과학기술을) 도입하는 과정에서 (생겨날) 문제 같은 걸 (과학자도) 많이 고려해봐야 될 것 같아요.

과학적 소양인에 대한 정의는 다양하지만, 최근의 과학적 소양에 대한 논의는 민주 시민으로서 사회적 의사결정에 적극적으로 참여하는 실천적 측면이 강조되고 있다. 원전의 존폐나 화학물질의 규제에 관한 논의에서 볼 수 있듯이 과학기술과 관련된 정책을 결정하는 데 사회적 합의의 과정이 더욱 중요해졌다. 과학기술은 더 이상 과학기술자들만의 문제가 아니다. 과학자들이 얼마만큼의 사회적 책임감을 가져야 할지 고민해야 하는 것과 마찬가지로, 모든 사람이 과학기술과 관련된 사회적 문제들에 자신의 목소리를 낼 수 있어야 한다. 지식 이후의 과학을 활용하는 데 필요한 지혜는 과학기술의 양면성을 이해하고 과학과 사회의 관계에 대해 끊임없이 고찰함으로써 얻어질 수 있다.

나. 과학과 나의 관계에 대한 인식

과학과 사회의 관계에 대한 이해가 우리 사회의 더 나은 미래를 위해서 필요하다면, 나 자신의 풍요로운 삶을 위해서는 과학과 '나'의 관계에 대한 인식이 선행되어야 한다. 인공지능 기술과 빅데이터 기반 맞춤형 기술이 상용화되면서 과학기술은 사람에게 직접 말을 건네고 같이 생각하며 대신 결정을 내려주기에 이르렀다. 이런 시점에서 과학과 나의 관계 맺음에 대해 생각해보는 것은 과학기술이 제공하는 편리함에 안주하지 않고 보다 주체적으로 과학기술을 향유하며 살아갈 미래의 시민들에게 필요한 성찰적 지혜가 된다. 본 연구의 면담에 참여한 C교사의 다음 발언은 과학자들의 의견을 비판 없이 수용하기 보다 스스로 판단하여 결정하는 지혜가 필요하다는 생각을 보여준다.

연구자: 과학기술 시대를 살아갈 민주시민에게 요구되는 지혜는 무엇이라고 생각하나요?

C교사: 우리가 알고 있는 과학지식이 불변의 진리가 아니라는 것. 살을 더 붙여 발전할 수도, 근본부터 흔들려 폐기될 수도 있다는 것. 과학이라는 것이 진리가 아니므로 사람에 따라 다른 주장을 할 수 있다는 것. 어떤 이슈에 대한 한 과학자의 분석이 꼭 진실이 아니므로 여러 과학자의 이야기를 듣고 이를 판단하고 의사를 결정해야 한다는 것. [서면 응답]

C교사는 과학에 대한 맹신과 과학자들의 생각에 대한 무비판적인 수용을 경계하면서 모든 사람이 스스로 판단하고 의사결정을 할 수 있어야 하며 이것이 과학기술 시대에 필요한 지혜라고 생각하였다. 혹은 과학기술 관련 사회적 이슈들에 대한 의사결정은 전문가들과 책임자들에게 맡겨두는 것이 바람직하다고 생각할 수도 있다. 하지만 개인의 판단이 정책 결정에 큰 영향을 미치지 못하더라도, 또는 해당 이슈가 대다수의 개인과는 별 관련 없는 문제라고 할지라도 스스로 다양한 정보와 의견을 참고하여 자신만의 생각을 만들어가는 과정은 그 자체로서 의미가 있다. 나아가 과학을 수동적으로 받아들이는 사람과 주체적으로 과학을 활용하는 사람의 차이를 만들어낼 수 있다.

과학이 개인과 만나는 지점은 큰 사회적 이슈들보다는 생활 속 작은 경험들에서 발견된다. C교사는 물리 과목이 학생들의 전공과 직접적인 관련이 없다는 것을 인정하면서도 과학기술 관련 사회적 이슈들이나 실생활에 유용한 과학기술 응용 사례들을 수업시간에 자주 언급한다고 하였다. 이것은 학생들 개개인의 안전과 진로, 그리고 미래사회에 대한 준비라는 측면에서 과학이 ‘나’와 관계 맺고 있음을 일깨우기 위해서다.

C교사: 우리 학교에서 물리가 있는 이유도 OO과애들을 위해서가 아니에요. (생략) 그럼에도 불구하고 의미가 있어서, 그런 의미를 가지고 내가 수업을 해주는 거죠. [면담]

C교사: 복핵 문제, 알파고, 포항지진 등 관련된 큰 이슈가 있는 경우 수업시간에 꼭 이야기하는 편이고 또 평소에도 성교육이나 및 의학적 상식 등에 대한 이야기를 수업시간에 하기도 함. 과학의 내용적 지식을 아는 것이 주변에서 일어나는 현상을 논리적으로 설명하기에 편리하고, 또한 본인의 안전, 진로, 미래사회에 대한 준비 등에도 유용하다는 이야기를 자주 언급한다. [서면 응답]

본 연구의 면담에 참여한 교사들은 모두 과학이 학생들의 삶과 동떨어진 과목이 아니라는 것을 알려주고 싶어 하였다. 교사들의 생각대로 과학은 진로나 안전, 생활에서 편리함을 주는 기술 등 여러 측면에서 모두의 개인적 삶과 관계를 맺고 있다. 하지만 ‘과학이 나에게 얼마나 도움이 되는가’라는 실용성의 척도로 표현될 수 있는 이런 인식은 여전히 개인을 과학기술의 혜택을 누리는 수용자의 역할로 규정하거나, 또는 더 나은 삶을 위해 과학을 따라잡아야 하는 예측의 수준에 머물게 한다. 말하자면 과학이 나의 진로에, 나의 생활의 편리함에, 나의 안전에 얼마나 도움이 되고 있는지에 대해 이야기하는 것은 과학이 학생들 개인의 실제적 삶에 적잖은 기여를 하고 있음을 강조한다. 그런 반면, 과학과 개인이 만나는 그 외의 지점들에 대한 관심과 탐색의 가능성을 의도치 않게 지워낸다. 예를 들면 과학을 공부하면서 느끼는 즐거움이나 만족감, 또는 좌절감과 무기력함 같은

감정들은 개인과 과학의 관계를 설명하는 정서적 측면이 될 수 있다.

연구자: 과학을 배우거나 이해했을 때 감정적으로 되게 좋았던 경험이 있었어요?
A2학생: 교류 배울 때 있잖아요, RLC회로 할 때 위상자 그리는 거. ... 그걸 뭘 잘못 생각했는지를 깨닫고, ‘아 이렇게 하면 안되고 이렇게 해야 되는 구나라는 걸 알았을 때 좀 되게 기분이 좋았어요.

A1학생: 열통계 식 유도하는 과정이요. 그 식 자체는 되게 자주 보던 건데 아무도 그걸 제대로, 어떻게 나오는지 얘기해준 적이 없었니까. 그러다가 한 번 유도하는 거 짚 보고 좀 (좋았어요). 근데 사실 이런 거(수학적 식으로 이해하는 것)보다는, 개념적으로 이해하는 게 좀 더 외달긴 해요. 현상적으로 이해하는 거.

연구자: 그렇게 뭔가를 깨달았을 때, 기분이 좋은 이유 같은 게 있었어요?
A1학생: 답답한 게 좀 풀리는 느낌? [면담]

면담에 참여한 A1, A2 학생은 과학을 공부하면서 해소되는 느낌, 기분 좋은 느낌 등 긍정적 감정을 경험한다고 말했다. 두 학생은 모두 어렸을 때부터 과학에 대한 흥미가 높은 편이었다. 하지만 오히려 과학고에 입학하고 나서는 예전만큼 과학이 즐겁지만은 않다고 한다. 과제, 시험 준비, 자유 탐구 등 해야 할 일이 너무 많아서 과학의 즐거움을 느낄 여유가 줄었기 때문이다. 그것이 과학인 줄도 모르고 좋아했던 어렸을 때와 달리 지금은 과학을 “산 넘어 산”처럼 느끼고 있었다.

A2학생: 저는 어렸을 때 호기심이 좀 많았었거든요. 그래서 막 맨날 부모님한테 이걸 왜 그러냐고 저건 왜 그러냐고 물어봤었는데, 유치원 들어가기 전부터. 그래서 부모님이 그냥 책을 시주셨었는데, 그게 과학책이었거든요. 그걸 읽으면서 궁금했던 것들이 대부분 풀리더라고요. 그래서 되게 신기하고 재미있었거든요. 그때는 그게 과학이라는 걸 몰랐어요.

연구자: 그럼 그때 흥미가 지금까지 비슷하게 유지되고 있어요, 아니면 더 강해졌어요? 아니면 요샌 좀 지쳐요?
A2학생: 조금 지쳐요. 뭐랄까 생각보다 그렇게까지 예전만큼 그렇게 흥미를 느끼지 못하는 게 음... 뭐랄까 너무 바쁜 현실에서 살다 보니까 호기심 같은 걸 여유가 안 생겨서... 너무 빡세요. 과제 같은 거라든지 그런 것도 너무 (힘들어요). 시간 분배를 잘 하는 애들은 금방 끝내는 데 뒤처지는 애들은 진짜 힘들어하거든요. 어떻게든 그러가지고 결국에는 밤을 새서라도 해결을 하게 되는데 그러면 산 넘어 산이 돼서... [면담]

면담에 참여한 과학고 학생들이 너무 많은 공부량에 힘들어하는 반면, 면담에 참여한 일반고 학생들 대부분은 물리가 너무 어렵다는 고충을 호소하였다. 다른 학생들보다 성적이 월등하게 좋은 한 학생을 제외하고는 대부분이 물리를 이해하기 어려운 과목으로 인식하였다. 이과를 선택한 학생들에게 물리는 자신의 진로에서 매우 중요한 과목이지만 그 외 일상적 삶의 관련성에 대해서는 부정적인 답변이 많았다. 물리학이 삶과 관련이 깊다고 응답한 한 학생도 가까운 주변에서 물리적 현상들을 발견할 수 있다는 등의 피상적 수준에서의 관련성만을 언급하였다.

B2학생: 근데 물리를 언더 써먹지?

B3학생: 똑똑한 척할 때, 대학 갈 때.

B2학생: 너 공대 갈 거면 물리밖에 안 할 걸?

B5학생: 수학, 과학 진짜 쓸 데가리가 없는데 [면담]

B3학생: 물리라는 학문 자체가 일상생활에서 거의 쓰이지 않을 것 같아요. 그쪽 전문 직업 안 가지면...

B4학생: (물리를) 전문적으로 이렇게 배우는 거는...아닌 것 같아요. 하다 보면 재미있을 것 같은 한데, 재미있으려면 이해를 해야 돼요. 근데 이해가 안돼서... 저는 못 하겠어요. 이해하려고 자습서를 샀는데, 안되는 거예요.

B6학생: 해서계 할 때만 해도, 갑자기 한 번 딱 조니까... "알지?" 이러시는 거예요. '어, 난 모르는데...' [면담]

면담에 참여한 특성화고 학생들도 물리를 어려워하는 것은 마찬가지였다. 자신의 삶과의 관련성을 묻는 질문에 대해 일상적 삶에서 뿐 아니라 진로 측면에서도 물리가 별 도움이 되지 않는다고 생각한다는 점이 작은 차이였다. 이런 생각은 C교사와 학생들 모두가 공감하는 바였다. 다만 그렇기 때문에 면담에 참여한 특성화고 학생들은 물리 과목에 대한 스트레스나 좌절감도 크지 않았다. 면담에 참여한 대부분의 일반고 학생들에게 물리가 '이해가 안 되지만 필요하니까 따라잡아야 하는' 과목이라면 면담에 참여한 특성화고 학생들에게는 필요성과 관련성 모두 느끼기 힘든 과목이었다.

조금씩 차이는 있었지만 면담에 참여한 세 학교의 학생들은 모두 과학이 자신에게 어떤 의미를 갖는지, '나'라는 개인과 어떻게 관계 맺고 있는지를 생각해 볼 여유는 많지 않아 보였다. 궁금증을 해결해 주고 호기심을 충족시켜주던 과학이 진학을 거듭하면서 점차 따라잡아야 하는 과목이 되었다. 과학을 계속해서 공부할 자격을 갖추었는지 여부를 반복되는 시험으로 검증받으면서 어떤 학생들은 과학고 진학에 실패하고, 많은 수가 이과를 포기하고, 또 누군가는 일찍이 '나와 무관한 과목'으로부터 관심을 거둔다.

과학과 '나'의 관계를 규정할 수 있는 주체는 나 자신이다. 누구나 과거를 더듬어 잘 생각해 보면 과학과 만나 특별한 경험을 했던 기억을 찾아낼 수 있을 것이다. 누군가는 작은 매미를 처음 손으로 잡았던 순간의 긴장과 미묘한 느낌을 떠올릴 수도 있고 또 누군가는 처음 과학만화책을 읽으면서 몰입했던 경험을 생각해낼 수 있다. 과학과 나의 관계에 대해 생각은 필연적으로 '나에게 과학이 갖는 의미가 무엇인가'에 대한 생각으로 이어진다. 과학은 나에게 무엇인가? 나의 정서적 측면 윤리적 가치관은 과학과 어떻게 만나는가? 과학의 본성을 아는 것이 나에게 어떤 의미인가? 그래서 나는 앞으로 과학과 어떤 관계를 맺고 싶은가? 이런 질문들은 과학과 자신의 관계에 있어 나의 주체성(subjectivity)을 강조하고 과학기술 시대의 민주시민으로서 개인의 역할에 대해 생각해 보는 시작점이 될 수 있다.

마지막으로 본 연구의 면담에 참여했던 학생들이 작성한 '물리가 나에게 갖는 의미'를 그대로 인용한다. 물리에 대한 흥미와 성적이 높은 학생들(A1, A2, B1)을 제외한 나머지 학생들의 응답이 눈에 띈다. 이 학생들에게 물리가 '어려운 과목' 외에 다른 의미를 가질 수 있는 방법이 무엇인지 고민해볼 필요가 있겠다.

A1학생: 물리는 나에게 '인생의 일부'이다. 왜냐하면 '내 남은 인생을 물리를 위해 써나갈 것이기' 때문이다.

A2학생: 물리는 나에게 '철심'이다. 왜냐하면 '철심으로는 잠겨진 문을 딸 수 있기' 때문이다.

B1학생: 물리는 나에게 '엔돌핀'이다. 왜냐하면 '항상 나에게 흥미를 주기' 때문이다.

B2학생: 물리는 나에게 '쉬워 보이는데 문제는 어려운 (과목)'이다. 왜냐하면 '들으면 아, 그렇구나 하는데 문제를 풀면 왜지? 하게 되기' 때문이다.

B3학생: 물리는 나에게 '블랙홀'이다. 왜냐하면 '공부할 때마다 시간이 느리게 가기' 때문이다.

B4학생: 물리는 나에게 '강물'이다. 왜냐하면 '흐르는 강물이 자신도 모르게 흘러가 바다로 향하듯 알지도 모르는데 종착점에 다가갈 것 같기' 때문이다.

B5학생: 물리는 나에게 '삶'이다. 왜냐하면 '삶에 나타나는 여러 가지 현상들을 알려주기' 때문이다.

B6학생: 물리는 나에게 '꼭 필요하다'다. 왜냐하면 '내 꿈이 건축가이기' 때문이다.

C1학생: 물리는 나에게 '어려운 과목'이다. 왜냐하면 '가속(거리-속력-시간) 개념이 너무 어렵기' 때문이다.

C2학생: 물리는 나에게 '공부'이다. 왜냐하면 '공부하지 않으면 외우기도 문제 풀기도 힘들기' 때문이다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 지혜를 도모하는 과학교육이 필요하다는 문제의식으로부터, 과학수업에서 공유될 수 있는 지혜가 무엇인지를 탐색해 보고자 하였다. 이를 위해 '과학의 지혜'를 조작적으로 규정하고 실제 고등학교 물리 수업을 관찰하여 그 예시를 도출하였다. 구체적으로, 3개 고등학교 물리 수업을 관찰하고 교사 면담과 학생 면담을 수행하여 분석한 후, '과학의 지혜'의 세 가지 범주와 여섯 개의 예시를 연구 결과로 제안하였다.

본 연구에서 규정한 '과학의 지혜'는 지식 이전과 이후의 과학에서 발견할 수 있는 지혜로운 행동, 생각, 태도, 방법 등을 뜻하며, 이때 '지혜로움'은 서론에서 언급한 네 가지 조건 -개인이나 사회에 도움이 되고, 윤리적으로 바람직하거나 (적어도) 문제가 되지 않으며, 가능한 효율적이고, 공유될만한 가치가 있는 것 -을 만족하는 의미로 보았다. 연구의 결과로 제시한 '과학의 지혜'는 세 가지 범주 -과학적 탐구에 필요한 태도, 문제 해결에 유용한 방법, 과학과 인간의 관계에 대한 고찰-과 여섯 개의 예시 -합리적 의심과 개방적 태도, 최선의 대안을 찾는 노력, 조건을 변화시켜보는 사고방식, 과학의 언어를 사용하는 소통방식, 과학과 사회의 관계에 대한 이해, 과학과 나의 관계에 대한 인식 -로 구성되어 있다(Table 4 참조).

한 가지 강조하고 싶은 것은, 본 연구에서 제시한 '과학의 지혜'들이 모든 '과학의 지혜'를 망라하는 것이 아니라, 연구자가 수집한 자료를 바탕으로 나온 일부에 해당한다는 점이다. 따라서 물리 과목의 전(全) 범위를 두고 관찰하거나 생물, 화학, 지구과학, 또는 과학탐구 실험 같은 다른 과학 과목들로 연구 대상을 확장할 경우 더욱 많은 과학의 지혜를 탐색할 수 있겠다.

한편, 본 연구는 지혜와 교육, 과학, 그리고 과학교육에 대한 연구

자의 생각과 관점으로부터 자료를 해석하고 결과를 도출하였다. 자료를 분석하기 전에 ‘과학의 지혜’를 어느 정도 규정하였고 이를 기준으로 연구 참여자들과 함께 협력적 논의를 거쳐 도출한 결과이긴 하나, 본 연구의 분석 방식이 탄탄한 연구 설계와 정교한 분석들에 의한 것이라고 보기는 어려울 수 있다. 이에 대해 미리 반론하자면, 연구자의 생각과 관점이 자료의 해석에 크게 관여하는 방법론은 연구의 한계라기보다는 차후의 담론을 확장하는 유효한 방식으로 기능할 수 있다. Maxwell(2010)은 지식의 확장을 위한 기존의 연구 패러다임이 인간의 감정이나 가치관, 삶의 철학 등을 배제해 왔음을 지적하면서 지혜를 구하는 탐구는 이것들을 포함해야 한다고 주장하였다(Maxwell, 2010, p. 12).¹⁵⁾ 삶에서 무엇이 가치가 있는지를 발견하기 위한 탐구는 연구자의 가치관이나 관점이 충분히 개입할 수 있으며 그렇게 하는 것이 오히려 인간 사회를 이롭게 하는 데 도움이 된다는 주장이다.¹⁶⁾ 본 연구도 이와 생각을 같이하여 객관적인 의미의 지혜를 찾기 위해 연구자의 해석을 배제하기보다는 적극적으로 개입하여 본 연구의 독자들과 생각을 공유하고자 하였다.

본 연구는 ‘과학의 지혜’라는 것이 논란의 여지 없이 분명하게 존재한다고 주장하는 것이 아니다. 과학에서 찾아볼 수 있는 ‘지혜’의 의미를 함께 생각해보고 그것을 공유하는 것이 하나의 새로운 교육 방식이 될 수 있음을 제안하는 것이다. ‘과학의 지혜’는 지혜를 지향하는 과학교육의 일환으로 해석되어야 한다. 그리고 지혜 지향적 과학교육은 과학교육의 내용과 실천 모두의 측면에서 학습자의 지혜를 도모하는 방식으로 나아가야 한다.

이에 본 연구의 결론으로 ‘지혜 지향적 과학교육’의 의미를 다음과 같이 세 가지로 정리하고자 한다.

첫째, 지혜 지향적 과학교육은 모두를 위한 과학교육이다. ‘모든 사람을 위한 과학’을 표방한 연구들¹⁷⁾은 모든 사람을 ‘위한’ 것이기보다 모든 사람에게 ‘요구하는’ 과학을 제시하고 있다. 한국, 미국, 일본에서 각각 수행된 ‘모든 사람을 위한 과학’이 포함하는 내용들은 과학 전공자에게는 너무 쉽고, 과학과 거리가 먼 진로를 택할 학생들에게는 여전히 어렵다.¹⁸⁾ ‘모든 사람을 위한 과학’을 가르치는 것이 ‘모든

사람을 위한 과학교육’이 되는 것은 아니다. 반면, 지혜 지향적 과학교육은 모두의 삶에 의미 있는 과학교육이 될 것을 추구해야 한다. 과학교육이 진정으로 모두를 ‘위한’ 것이 되기 위해서는 과학교육에 참여하는 모든 사람의 삶과 생각에 영향을 미칠 수 있어야 한다. 과학교사와 과학 학습자, 나아가 과학교육 연구자들까지도 과학교육이라는 인간 활동에 참여함으로써 내적(內的)으로 성장할 수 있어야 하며 과학의 실제적 유용성을 체감할 수 있어야 한다. 내적인 성장은 지식의 습득과 이해 같은 인지적 능력의 신장뿐 아니라 개인의 삶에 대한 성찰과 사회에 대한 관심, 그리고 미래에 대한 통찰 등을 모두 포함한다. 또 개인의 흥미와 적성, 성취도를 고려하여 학습자에게 실질적으로 필요한 내용과 수준에서 과학수업이 이루어져야 할 것이다.

둘째, 지혜 지향적 과학교육은 과학지식의 중요성을 간과하거나 축소하지 않는다. 과학지식 교수학습이 중심인 과학교육에 대한 비판적 시각으로부터 지혜라는 지향점을 제안하였으나 이것은 과학지식이 지금보다 덜 가르쳐져야 한다고 주장하는 것이 아니다. 그보다는 과학지식 교육이 내용과 깊이 면에서 학습자 중심으로 이동해야 한다는 의미이다. 앞에서 얘기한 것처럼, 학습자의 흥미와 적성을 고려하여 살아가는 데 유용하게 적용될 수 있는 과학지식을 제공해야 한다. 본 연구에서 관찰한 과학고와 일반고, 그리고 특성화고의 물리 수업은 학습자 집단의 특성을 고려하여 서로 다른 과학지식 내용과 수준으로 교수학습이 이루어지고 있었다. 하지만 학습자의 성취도에 따라 대학 수준의 지식을 추가로 포함하거나 정규 교육과정에는 내용을 누락시키는 방식으로 난이도 조절이 이루어지고 있었다는 점은 여전히 아쉽다. 특히 특성화고의 학생들을 가르치는 C교사의 경우, 학생들의 진로와 일상생활에 도움이 되는 과학을 가르치기 위해 개인적으로 노력하고 있었다. 하지만 교사 개인의 노력으로 가르칠 내용을 찾고 수업을 구성하게끔 맡기는 것보다는 교육과정 차원에서 변화가 이루어지는 것이 효율적일 것이다. 예컨대 과학에 대한 흥미와 성취가 높은 학생들에게는 보다 원론적이고 심층적인 과학지식을 가르치고, 흥미와 성취가 낮은 학생들에게는 일상생활에 유용한 방식으로 한 차례 가공된 과학지식¹⁹⁾을 가르치는 것이 하나의 대안이 될 수 있다. 요컨대 지혜 지향적 과학교육은 과학지식이 학습자에게 유용한 내용과 방식으로 제공되어야 함을 의미한다.

15) Maxwell(2010)은 (과학적 방법론이 반드시 필요한) 수리과학 분야를 제외한 인문·사회 분야의 탐구 방식이 ‘지식·탐구(knowledge-inquiry)’로부터 인간 복지(human welfare)의 증진을 위한 ‘지혜·탐구(wisdom-inquiry)’로 변혁이 일어나야 함을 주장하였다.

16) Maxwell(2010)은 연구자의 개인적 생각과 관점에 충실한 연구 방법론을 옹호하면서 비판을 의식한 듯, 다음과 같이 덧붙였다. “하지만 모든 소망하는 것들이 다 바람직한 것은 아니며, 좋다고 생각되는 모든 것들이 다 좋은 것이 아니므로 감정, 소망, 가치관 등은 비판적 검토의 대상이 되어야 한다.(원문: *But not everything we desire is desirable, and not everything that feels good is good. Feelings, desires and values need to be subjected to critical scrutiny.*)(Maxwell, 2010, p. 12).”

17) ‘모든 사람을 위한 과학(Science for all)’이라는 공통된 표어 아래 미국에서는 『Science for all Americans(AAAS, 1989)』, 일본에서는 『Science for all Japanese: Wisdom of science and technology(Kazuo, 2008)』, 한국에서는 『Development for “Science for all Koreans”(원제: 모든 한국인을 위한 과학 개발)(Jeon, Koh, Lee, Kwak, Choi, Kang, & Park, 2017)』이 발간되었다.

18) 『Science for all Americans(AAAS, 1989)』의 서문에는 “과학과 기술로 형성된 세상을 사는 시민들에게 무엇을 이해하고 어떻게 생각하는 것이 필수인지에 대한 일련의 제안들로 이루어져 있다.(원문: *Science for All Americans consists of a set of recommendations on what understandings and ways of thinking are essential for all citizens in a world shaped by science and technology.*)”라고 적혀 있으며, 일본의 『Science for all Japanese: Wisdom of science and technology(Kazuo, 2008)』의 종합보고서 요약문에는 “...모든 성인이 익히길 바라는 과학·수학·기술에 관한 지식·기능·사물

에 대한 견해이다.”라고 적혀 있다. 『Development for “Science for all Koreans”(Jeon et al., 2017)』에는 “모든 한국인을 위한 과학’에서는 과학 소양을 정의하고 과학소양의 수준 및 범주를 설정함으로써...(p.i)”, “20-30년 이후의 미래세대의 일반인들에게 필요할 것으로 예상하는 과학 소양을 제안하는 것이고...(p. 68).” 등으로 표현되어 있다. 이러한 표현들은 모든 사람을 ‘위한’ 과학이라기보다는 모든 사람에게 ‘요구하는’ 과학 소양의 최소 기준을 제시하는 것처럼 들린다. “세상은 과학소양이 소수의 특권층만이 아닌 모든 사람에게 필요하게 되도록 바뀌었고...(원문: *The world has changed in such a way that science literacy has become necessary for everyone, not just a privileged few...*)(AAAS, 1989, p. xvi)”라는 표현에서 미루어 보건대, ‘모두를 위한 과학’의 ‘모두를 위한’의 의미는 ‘(과학 전문가들뿐 아니라) 일반인들을 위한’을 의미하는 것으로 보인다. 이에 반해 본 연구에서 주장하는 ‘모두를 위한 과학교육’은 ‘(과학에 대한 흥미나 적성에 상관없이) 과학교육에 참여하는 모든 한 명 한 명의 사람을 위한’의 의미로 사용하였다.

19) ‘가공된 과학지식’이란 표현은 본 연구에서 한정적으로 쓰는 용어임을 밝혀둔다. 여기서 ‘가공된’이라는 말은 원론적인 의미의 과학지식이나 개념을 일상적인 용어를 사용하여 실제 적용 가능한 방식으로 바꿔 표현한다는 의미로 사용하였다. 예를 들어, 카페인의 화학식과 분자량, 구조 모형 등이 원론적 의미의 과학지식이라면, 카페인이 커피에 포함되어 있고 각성효과를 나타낸다는 등의 지식이 ‘가공된 과학지식’에 해당한다.

마지막으로, 지혜 지향적 과학교육은 과학에 대한 관점이 총체적으로 확장되어야 함을 시사한다. 과학은 일견 지식임에 분명하지만 지식이라는 말로는 과학이 가진 많은 측면들을 충분히 담아내지 못한다. 그럼에도 과학이 지식체계로서만 주로 강조되는 이유는 과학이 지식으로서 확립되기까지의 과정과 과학지식이라는 지위를 얻게 된 이후의 과정에 대한 관심이 과학지식 자체를 이해하는 것에 대한 관심보다 덜하기 때문이다. 과학지식은 자연의 원리를 과학의 언어로 간단 명료하게 보여줌으로써 자연에 대한 우리의 이해를 증진시켜 준다. 다만 그것이 학습자들의 삶과 관련하여 더욱 의미를 갖기 위해서는 과학이 자연을 대상으로 하는 학문이라는 것과 함께 인간이 과학의 주체라는 점을 한층 강조할 필요가 있다. 결국, 지혜 지향적 과학교육은 '지식으로서의 과학'에 집중한 무게중심을 분산시켜 '지식 이전의 과학'과 '지식 이후의 과학'에 대해 실천적인 고민을 시작하는 것으로부터 가능하다. 그리고 이 과정에서 과학의 '비(非)과학적'인 측면에 대한 관심과 '메타(meta)과학적'인 분야의 확장이 지금보다 더 비중 있게 고려될 것을 요구한다.

과학교육의 지향점으로서 지혜에 대한 논의는 이제 막 시작되었을 뿐이다. 정확히 말하면 이제 막 시작할 것을 본 연구에서 제의했을 뿐이다. 본 연구에서 논의한 '과학의 지혜'나 '지혜 지향적 과학교육'은 이론적 고찰과 소규모 관찰 및 면담 연구를 통해 도출한 결과물로서, 현실적인 적용 방안은 언급하기 어려운 한계가 있다. 더불어 과학교육의 지향점으로서 지혜가 적절한지에 관한 필요성도 충분히 공유되었다고 보기는 힘들다. 이러한 한계들까지 향후의 논의거리로 삼아 과학교육에서 지혜의 담론이 이어지길 기대해본다.

국문요약

본 연구는 지식 중심의 과학교육에 대한 비판적 시각으로부터, 과학으로부터 배울 수 있는 지혜가 무엇인지 탐색하고자 하였다. 즉, 과학 과학수업 시간에 공유될 만한 '과학의 지혜'의 범주와 예시를 실제 수업 관찰과 면담을 통해 탐색하여 연구 결과로 제안하고자 하였다. 자료수집을 위해 3개 고등학교의 물리 수업을 관찰하고 교사 면담과 학생 면담을 각각 진행하였다. 수집된 자료는 본 연구에서 규정한 '과학의 지혜'의 의미에 기초하여 질적으로 분석하였다. 본 연구에는 '과학의 지혜'를 "과학지식의 형성 과정과 활용 과정에서 발견할 수 있는 지혜로운 행동, 태도, 방법, 생각 등의 행위"의 의미로 한정하여 사용하였다. 연구 결과, '과학의 지혜'의 3가지 범주와 6개의 예시를 도출하고 이를 연구자의 관점에서 해석 및 논의하였다. 첫 번째 범주는 '과학적 탐구에 필요한 태도'로서의 지혜이며, 이에 해당하는 예시는 '합리적 의심과 개방적 태도' 및 '최선의 대안을 찾는 노력'이다. 두 번째 범주는 '문제를 해결에 유용한 방법'으로서의 지혜이며, 이에 해당하는 예시는 '조건을 변화시켜보는 사고방식'과 '과학의 언어를 사용하는 소통방식'이다. 마지막으로 세 번째 범주는 '과학과 인간의 관계에 대한 고찰'로서의 지혜이며, 이에 해당하는 예시는 '과학과 사회의 관계에 대한 이해'와 '과학과 나의 관계에 대한 인식'이다. 결론에서는 미래 과학교육의 대안적 목표로서 '지혜 지향적 과학교육'을 제안하고 그 의미와 시사점에 대해 논의하였다.

주제어: 지혜, 과학의 지혜, 지혜 지향적 과학교육

References

- AAAS(American Association for the Advancement of Science). (1989). Project 2061: Science for all Americans. New York: Oxford University Press.
- Ardelt, M. (2003). Development and empirical assessment of a three-dimensional wisdom scale. *Research on Aging*, 25, 275-324.
- Arlin, P. K. (1990). Wisdom: The art of problem finding. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 230-243). New York: Cambridge University Press.
- Baltes, P. B., & Smith, J. (1990). Toward a psychology of wisdom and its ontogenesis. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 87-120). New York: Cambridge University Press.
- Betz, F. (2012) *Societal dynamics - Understanding social knowledge and wisdom*. Springer.
- Birren, J. E., & Fisher, L. M. (1990). The elements of wisdom: overview and integration. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 317-332). New York: Cambridge University Press.
- Bluck, S., & Glück, J. (2005). From the inside out: people's implicit theories of wisdom. In R. J. Sternberg & J. Jordan (Eds.), *A handbook of wisdom*, (pp. 84-109). New York: Cambridge University Press.
- Chandler, M. J., & Holliday, S. (1990). Wisdom in postapocalyptic age. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 121-141). New York: Cambridge University Press.
- Csikszentmihalyi, M., & Rathunde, K. (1990). The psychology of wisdom: an evolutionary interpretation. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 25-51). New York: Cambridge University Press.
- Clayton, V. P., & Birren, J. E. (1980). The development of wisdom across the life-span: A reexamination of an ancient topic. In P. B. Baltes & O. G. Brim (Eds.), *Life-span development and behavior* (Vol. 3), (pp. 103-135). New York: Academic Press.
- Darwin, F. (1887). *The life and letters of Charles Darwin, including an autobiographical chapter*. John Murray: London.
- Ha, E. (2008). A case analysis on the features and persistence factors of middle school students' science discourse during after-school group activities. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Holder, C. F. (1892). *Charles Darwin: his life and work*. New York: G. P. Putnam's Sons.
- Hong, S-O., Seo, M. W., Chang, H. W., & Hyun, J. (2015). *Science, technology and society*. Namu+Namu: Goyang.
- Hong, S-O. (2004). *Science and science studies*. SNU Press: Seoul.
- Jeon, S., Koh, H. Y., Lee, Y. S., Kwak, Y., Choi, S-Y., Kang, H., & Park, M. (2017). Development for "Science for All Koreans". KOFAC Research paper.
- Kazuo, K. (2008). Science for all Japanese: wisdom of science and technology. (KOFAC Trans.). KOFAC.
- Kim, J. (2006). From knowledge to wisdom buddhist reflection of knowledge-based society. *Journal of Korean Philosophical Society*, 99, 109-131.
- Kim, S-J, & Kim, S-H. (2014). On an education to foster Aristotle's practical wisdom. *Journal of Educational Innovation Research*, 24(1), 33-49.
- Kim, S-D., & Moon, H-N. (2010). The concept of wisdom and its development. *Philosophy of Education*, 42, 1-26.
- Kitchener, K. S., & Brenner, H. (1990). Wisdom and reflective judgement: knowing in the face of uncertainty. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 212-229). New York: Cambridge University Press.
- Kramer, D. A. (1990). Conceptualizing wisdom: the primacy of affect-cognition relations. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 279-313). New York: Cambridge University Press.

- Kupperman, J. J. (2005). Morality, ethics, and wisdom. In R. J. Sternberg & J. Jordan (Eds.), *A handbook of wisdom*, (pp. 245-271). New York: Cambridge University Press.
- Labouvie-Vief, G. (1990). Wisdom as integrated thought: historical and developmental perspectives. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 52-83). New York: Cambridge University Press.
- Lacey, H. (1999). *Is science value free? values and scientific understanding*. London: Routledge.
- Lee, H. (2018). What is SSI education? PYMATE: Seoul.
- Lee, S., & Cho, S. H. (2012). The development and validity of the Korean wisdom scale. *Korean Journal of Psychological and Social Issues*, 18(1), 1-26.
- Lemke, J. (1998). Online article. Teaching all the languages of science: words, symbols, images and actions. Retrieved from <http://www.jaylemke.com/science-education/> on 26, July, 2018.
- Lightman, B. (2010). The many lives of Charles Darwin: early biographies and the definitive evolutionist. *Notes & Records of the Royal Society*, 64, 339-358.
- Lim, I., & Song, J. (2017). The concept of 'wisdom' and its perception according to a survey of science teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(4), 731-745.
- Mach, E. (2014). The science of mechanics. (I, Ko Trans.) Hangilsa Publishing: Paju. (Original work published 1883, Original German title: *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*)
- Maxwell, N. (2007). From knowledge to wisdom: the need for an academic revolution. *London Review of Education*, 5, 97-115.
- Maxwell, N. (2010). The urgent need for an academic revolution from knowledge to wisdom. (Key note address at Conference at Poznan University of Technology in Poland. Published in the proceedings, pp. 19-30).
- Meacham, J. A. (1990). The loss of wisdom. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 181-211). New York: Cambridge University Press.
- Murcia, K. (2009). Re-thinking the development of scientific literacy through a rope metaphor. *Research in Science Education*, 39, 215-229.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87, 224-240.
- Orwoll, L., & Perlmutter, M. (1990). The study of wise persons: integrating a personality perspective. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 160-177). New York: Cambridge University Press.
- Park, Y-J. (2010). The way of originality/personality of education through cultivation of phronesis -based on Aristotle's Ethics-. *Journal of Korean Elementary Moral Education*, 33, 227-256.
- Pascual-Leone, J. (1990). An essay on wisdom: toward organismic processes that make it possible. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 244-278). New York: Cambridge University Press.
- Robinson, D. N. (1990). Wisdom through the ages. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 13-24). New York: Cambridge University Press.
- Russell, B. (1931). *The scientific outlook*. George allen & Unwin LTD: London
- Salloum, S. (2017). The place of practical wisdom in science education: what can be learned from Aristotelian ethics and a virtue-based theory of knowledge. *Cultural Studies of Science Education*, 12(2), 355-367.
- Solomon, J. L., Marshall, P., and Gardner, H. (2005). Crossing boundaries to generative wisdom: an analysis of professional work. In R. J. Sternberg & J. Jordan (Eds.), *A handbook of wisdom*, (pp. 272-296). New York: Cambridge University Press.
- Son, J-W., Lee, b., Moon, H-J., Park, S-H., Lee, S-Y., and Jeon, B-H. (2017). High school textbook: physics I. Visang Edu: Seoul.
- Song, J. (2016). Beyond knowledge - toward culture-sensitive science teaching and Science as Wisdom(SaW). (Plenary at 2016 KASE the 69th General Meeting & International Conference at Kyungpook National University in Korea. Published in the proceedings, pp. 40-49).
- Staudinger, U. M., Döner, J., and Mickler, C. (2005). Wisdom and personanlity. In R. J. Sternberg & J. Jordan (Eds.), *A handbook of wisdom*, (pp. 191-219). New York: Cambridge University Press.
- Staudinger, U. M., & Glück, J. (2011). Psychological wisdom research: commonalities and differences in a growing field. *Annual Review of Psychology*, 62, 215-241.
- Sternberg, R. J. (1990). Wisdom and its relations to intelligence and creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Wisdom: its nature, origins, and development*, (pp. 142-159). New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J., Jarvin, L., & Reznitskaya, A. (2008). Teaching for wisdom through history: infusing wise thinking skills in the school curriculum. In M. Ferrari & G. Potworowski (Eds.), *Teaching for wisdom*, (pp. 37-58). Springer.
- Zeleny, M. (2006). From knowledge to wisdom: on being informed and knowledgeable, becoming wise and ethical. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 5(4), 751-762.
- Zhang, H. (2012). *Science and meta-science*. Hyeonamsa: Seoul.

저자 정보

임인숙(서울대학교 학생)
송진웅(서울대학교 교수)