



‘과학의 본성’ 교육 - 그 다원성 고찰 -

조은진*, 김찬중, 최승언
서울대학교

A Study on the Plurality of Nature of Science in Science Education

Eunjin Cho*, Chan-jong Kim, Seung-urn Choe
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 September 2018

Received in revised form

4 October 2018

25 October 2018

Accepted 25 October 2018

Keywords:

consensus view of nature of science, alternative views of nature of science, plurality

ABSTRACT

Nature of Science(NOS) has been a well-organized focus of science education and one of the key elements in defining and cultivating scientific literacy for more than a century. In recent years, a specific description of NOS, which is often known as ‘the consensus view of NOS’, has become very influential and has gained ready acceptance as an arrangement for both curriculum building and research into understanding of NOS by students and teachers in many countries around the world. This study has two purposes; one is to review some debates and criticism on the consensus view of NOS which consists of a list of sentences to describe nature of refined and general science, which have been heated up for the last few years by many prominent science education researchers, and the other is to consider alternative perspectives on NOS for the purpose of a new direction of NOS education. As a result of an investigation into such views as ‘Teaching about NOS’, ‘Critical NOS’, ‘Critical Thinking-NOS’, ‘Whole Science’, ‘Features of Science’ and ‘Reconceptualized Family Resemblance Approach to NOS’, some implications which focus on the generality and plurality of content knowledge of NOS based on current philosophy of science and sociology of scientific knowledge are suggested for the improvement of teaching and learning NOS.

1. 서론

21세기에 들어서면서 과학교육은 더욱 완전하게 미래 시민 양성을 위한 모양새로 변화한 것이 사실이다(Miller, 2006; Osborne, 2007). 이는 과학의 학문적 지식을 습득하는 것을 강조하던 전통으로부터 전환하여, 인간의 삶에서 과학이 어떤 역할을 하는 것인지 이해하는 것에 집중하는 것이라고 할 수 있다(Bybee, 1997). 이와 같은 사조는 과학교육 내 ‘과학 소양이라는 강령적(programmatic) 개념’(Norris & Phillips, 2009)이 과학적 텍스트를 읽고 쓰는 것이나, 과학적 개념과 절차에 대한 이해에 국한되는 것이 아니라, 효과적인 시민권 행사에 필요한 지식을 가르치고 배우는 것을 강조하도록 이끌고 있다. 달리 표현하여, ‘과학 소양, 비전 I(Science Literacy, Vision I)’과 ‘과학적 소양, 비전 II(Scientific Literacy, Vision II)’를 구분하는 것이 중요하다고 주장되기도 한다(Roberts, 2007; Roberts & Bybee, 2014). 전자는 과학 교과 영역 내 학문적 내용을 강조하는 것이고, 후자는 특정 맥락에 내재된 ‘과학 기반 사회적 쟁점(socioscientific issues, 이하 SSI)’¹⁾에 대한 개인적인 의사결정 능력을 포함하여 과학교육에 대해 보다 폭 넓은 접근 방식을 강조하는 것이다(Karisan & Zeidler, 2017).

그러한 현대적 의미의 과학적 소양을 중시하는 근거에는 국가의 경제 복지와 사회 정의를 지원하고 사회에서 행동을 취하는데 기반이 되는 과학 및 기술 지식의 가치가 포함된다(DeBoer, 2000; Hodson, 2003; Roberts, 2007).

지난 수십 년간 과학철학에서 ‘과학자의 실행’이라는 주제에 주목해 왔으며, 최근에는 과학교육에서 ‘과학적 실행(scientific practice)’을 강조하고 있다.²⁾ 두 분야 모두에서 과학이 실제로 어떻게 실행되는가에 관한 여러 의견들을 이해하고, 그러한 의견들을 철학과 교육에서 제기되는 문제들에 적용하는 노력이 나타나고 있다. 이는 철학자들이 지식 생성과 검증을 위한 독자적, 논리적 체계로서 과학을 설명하기 보다는, 과학자들이 자연 세계를 이해하려는 목표를 증진하기 위해 실제로 행하는 것에 포함된 뉘앙스와 맥락 의존성에 더욱 집중하기 시작했다는 것을 의미한다. 달리 말하자면, 경험주의를 지지하는 전통적인 철학의 가정과 제약을 버리고, ‘진정한 과학(authentic science)’을 기술하고자 노력을 경주하고 있다는 것이며, 그러한 전환은 ‘자연화 된 과학철학(naturalized philosophy of science)’³⁾을 통해 기술되고 있다.

* 교신저자 : 조은진 (myjyk93@snu.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.5.721>

1) SSI는 과학적 주제로서, 사회에 미치는 영향력이 크고 복잡하며, 그 해결 방법이 모호한 비구조화된 문제 상황을 말한다. 학생들은 SSI에 대한 의사결정을 하는 과정에서 과학 지식은 물론, 쟁점에 포함된 사회, 경제, 윤리, 도덕적 측면을 고려할 수 있는 기회를 갖게 된다(Sadler, 2009).

2) 미국의 차세대 과학표준(Next Generation Science Standards)(NGSS Lead States, 2013)에서 기존 ‘과학적 탐구(inquiry)’는 ‘과학적 실행’ 개념으로 대체되었다. 이는 과학적 실행 범주에 ‘과학을 아는 것(knowing of science)’과 ‘과학을 하는 것(doing of science)’이 통합된 것이며(Osborne, 2014), 과학적 탐구를 과학적 실행의 한 형태라고 간주하는 입장에 해당한다(Bybee, 2011).

3) 과학자들이 실제로 과학을 수행하고 있는 것을 살펴봄으로써, 과학의 본성을 파악할 수 있다는 입장에서 전개되는 과학철학을 말한다(Giere, 1985).

자연주의 철학의 관점에서 과학을 연구하는 학자들은 과학의 사회적 구조라든가, 과학적 실행에 통용되는 인식론적이며 문화적인 규범, 과학자의 일상적 실행, 도구와 물질의 외형적 역할, 추론 및 문제해결 전략 등에 집중하는 연구를 수행하여 다양한 관점에서 과학적 실행의 복잡성을 고찰해 왔다. 그 결과들은 학교 과학 수업에서 다룰 수 있는 ‘과학에 대한 인식론’⁴⁾에 실제 과학계에 통용되는 ‘비구조적인 과학’에 대한 설명을 포함하도록 요구하고 있다(Matthew, 2014). 즉, 과학적 실행의 다양성과 역동성, 과학 지식의 생성과 정당화 과정에 참여하는 사회와의 상호작용 측면들을 더욱 강조하여 과학 학습 환경의 설계는 물론, 과학의 본질적 속성(Meichtry, 1993), 즉 과학의 본성(nature of science, 이하 NOS) 교육에 접목하는 것이, 민주시민으로서 의사결정 능력을 갖춘 과학적 소양인을 양성하는데 바람직하다고 주장되고 있다.

흔히 NOS를 일컬어, 과학철학자, 과학역사가, 과학사회학자, 심리학자 뿐만 아니라 과학교육자들이 각 분야의 학문적 입장에서 과학을 조망한 결과로부터 비롯되는 ‘과학에 대한 메타지식(meta-knowledge)’이라고 한다(Clough, 2011). 이에 지금까지 많은 과학교육 연구자들이 HPSS(History, Philosophy, Sociology of Science) 문헌이라든가(AAAS, 1990; Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998; Hodson, 1991; McComas, 2005, 2008; NRC, 1996), 세계 여러 나라의 과학교육 개혁안(McComas & Olson, 1998) 또는 과학자 등 전문가의 합의 내용(Osborne *et al.*, 2003) 탐색 등의 다양한 경로를 통해 과학교육과정에 적합한 NOS 내용 요소의 합의를 추구해 왔음을 확인할 수 있다. 하지만 그러한 노력에도 불구하고, 과학의 발달은 물론이고, 과학에 대해 좀 더 체계적으로 사고한 결과들이 과학교육 공동체의 NOS 개념화 방식에 반영됨에 따라 NOS 개념은 변해왔으며(AAAS, 1990, 1993; NSTA, 1982), 현재 NOS 내용으로 무엇을 과학교육과정에 투입하는 것이 옳은가에 대해서는 여전히 대립되는 주장과 논쟁적 요소들이 점철되고 있다(Allchin, 2013; Hodson & Wong, 2017; Osborne *et al.*, 2003; Smith & Scharmann, 1999; Stanley & Brickhouse, 2001). 그러므로 과학 자체가 소유한 역동성과 복잡성은 물론, 과학에 대한 인식적 이해를 구축하는 연구자들의 관점에 따라, 급변하는 현대 사회가 과학 및 과학교육에 요구하는 기준들에 따라 NOS의 의미가 다양하게 드러나는 것은 당연하다고 할 수 있으며, 그러한 이유로 과학적 소양을 열린 개념으로 간주하는 맥락과 유사하게, NOS 역시 변화하는 열린 개념으로 여겨진다고 판단된다.

한편, NOS란 무엇인가에 대해 HPSS 전문가들과 과학교육 연구자들이 ‘합의’한 NOS 내용 요소의 존재 여부나, 학생들의 NOS 이해를 위해 초·중·고 교육과정에 그 내용을 표준화하는 것의 타당성 여부와 별개로 더욱 중요한 것은, 학생들이 과학 수업을 통해 NOS에 대하여 무엇인가를 느끼고 배운다는 것이다. 이때 주목해야 할 것은 많은 연구 결과들이 증명하듯이, 대부분 초·중·고 학생, 교사, 일반 대중이 소유한 과학에 대한 이미지는 어떤 NOS 이해를 측정하는 도구를 사용하여 평가한다 하더라도 낮은 수준의 이해에 머물러 있다는 사실이다(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000a; Driver *et al.*, 1996; Finson, 2002; Hogan & Maglienti, 2001; Lederman, 1992, 2007; Lederman

& Lederman, 2014; Moss *et al.*, 2009; Noh *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2012; Ryder, Leach, & Driver, 1999). 이에 Lederman & Lederman(2014)은 NOS 이해는 이미 20세기가 시작되기 이전부터 지속적으로 과학교육의 핵심적인 목표임을 언급하며, 그러한 과학교육 역사 속 오랜 전통은 지금까지의 교육적 노력에도 불구하고 일반 대중들이 NOS에 대해 적절한 관점을 소유하고 있지 않다는 사실을 반증하는 것이라고 강조하였다.

세계 여러 나라의 중·고등학교 과학 교과서 분석 결과는 더욱 심각하여, 교과 지식의 내용으로 NOS를 거의 다루지 않거나, 그 내용이 지극히 부족하고, 다룬다고 해도 개괄적이어서(Abd-El-Khalick, Waters, & Le, 2008; Irez, 2009), 때로는 학생들의 NOS 이해에 대해 치명적인 오개념을 전달할 수 있는 것으로 진단되었다. 또한, 대부분의 교과서들이 주로 과학의 최종 산물을 다루거나, 최종적 형태로 과학을 묘사하며(Duschl, 1994), 과학적 인식에 존재하는 방법론이나 해석적인 요소들을 무시하기 때문에, NOS 교육의 장애로 작용할 수 있다고 할 수 있다. 이와 같은 과학 교과서 분석 결과들은 과학교육과정에 과학과 과학자에 대한 고정관념이 존재하며(Hodson, 1998), 교과서는 이를 영속시키는 역할을 해왔다는 주장과(McComas, 1996) 연속선 상에 있다고 판단된다. 이에 Hodson(2014)은 전통적 과학교육은 학생들의 과학에 대한 선입견이 어떤 수준의 것이든 간에, 바람직한 NOS 이해에 도움이 되지 못하며, 모든 과학 교수·학습 활동, 특히 실험 활동에 내재하는 ‘과학에 대한 메시지’는 강력하여, 때로는 ‘과학적 탐구에 대한 관점’을 왜곡하고, 지나치게 단순화하여 전달한다고 주장하기도 하였다.

최근 우리나라 과학교육과정 내 공통과학 및 융합형 과학 교과서에 나타난 NOS 내용 요소들을 탐색한 연구 결과는 7차 교육과정의 공통과학에서 2009 개정 교육과정의 융합형 과학으로 변화함에 따라 NOS를 반영하는 정도는 오히려 감소하였음을 보여주었다(Yang, Kim, & Noh, 2015). 이를 자세히 살펴보면, 공통과학의 이론 단원에서 명시적인 NOS 표현을 찾기 어려웠고, 융합형 과학에서는 공통과학 내 탐구 단원에서 볼 수 있었던 NOS 내용마저 사라진 것을 확인하였다(Lee, Park, & Jeong, 2016). 또한 융합형 과학을 공부한 고등학교 1학년 학생들의 NOS에 대한 이해의 수준은 그 이전보다 오히려 하락한 것으로 보고된 바 있다(Kim, 2016).

지금까지 거론된 현실을 직시할 때, 초·중등 과학교육과정 내에 NOS의 내용을 표준화하여 교수·학습이 이뤄지도록 하는 것의 타당성과 실용성은 의문의 여지가 없다고 할 수 있다. 이에 세계 여러 나라에서는 NOS 개념화에 존재하는 심대한 HPSS적 논쟁과 불일치에도 불구하고, 어느 정도 합의가 이루어진 NOS 내용을 교육과정에 포함하는 동향을 보이고 있으며, 우리나라도 마찬가지여서, 2015 교육과정의 고등학교 필수과목인 「과학탐구실험」⁵⁾ 내 핵심 개념으로 ‘과학의 본성’을 다룰 때에도 그 기초를 유지하고 있다(MOE, 2015).

최근 과학적 실행을 과학교육의 키워드로 간주하는 흐름은(Matthew, 2014) 진정한 과학을 학교 과학에 반영해야 한다는 주장과 함께, ‘NOS란 무엇인가?’, ‘그러한 NOS의 무엇을 과학교육과정에 포함해야 하는가?’에 대한 답을 구하는 것에 집중하도록 이끌고 있다.

4) 인식론은 주관적인 또는 공유된 인간 지식의 본성, 기원 및 정당화 과정 및 진리에 대한 이론으로서, 과학 인식론은 근본적으로 인식론자가 어떻게 과학에 대해 알아가야 하는가에 대한 것이다(Kwak, 2001).

5) 고등학교 「과학탐구실험」은 9학년까지의 「과학」을 학습한 학생들을 대상으로 하여 과학 탐구 능력 및 핵심 역량을 향상시키기 위해 과학 탐구 활동과 체험 그리고 산출물 공유의 경험을 제공하는 과목이다(MOE, 2015).

이와 같은 NOS 연구의 핵심 질문들은 지금까지 여러 나라의 과학교육 연구 및 교육과정 상에서 널리 통용되어 온 합의 NOS 관점이 갖는 교의(tenet)에 대한 비판적 검토와 함께, 다양한 대안적 관점들이 등장하는데 단초를 제공하였으며, 학생 및 교사교육에 필요한 NOS의 내용에 대한 논의는 최근 들어 더욱 가열되고 있다(Hodson & Wong, 2017).

교육은 본질적으로 미래 지향적 활동이기에, 학생들이 성인으로 살아가 미래에 대해 반드시 고려해야 하며, 그 사회를 살아갈 수 있는 안목과 능력을 기를 수 있도록 방향을 수립해야 한다. 따라서 교육은 과거와 현재를 통섭할 뿐만 아니라, 다가올 미래를 예측하고 대비할 수 있는 활동이어야 한다(Lee, 2008). 그러한 주장에 더욱 힘이 실리는 것은 현재, 기후 변화와 같은 인류의 미래와 관련된 여러 과학적 주제들이 사회적 쟁점으로 크게 부각됨에 따라 과학교육의 전면적인 개혁이 요청되고 있기 때문이다.

이러한 현실은 그 어느 시기보다 진정한 과학에 대한 이해의 중요성을 강조해야 함을 뒷받침한다. 이에 NOS 교육이 현대 사회가 요구하는 과학교육과 어떤 관련성을 가지고 나아가야 할 것인지, 구체적으로 과학 수업에서 NOS의 무엇을 어떻게 다루어야 미래 지향적 과학교육의 책무를 다할 수 있을지 고민해야 한다.

따라서 지금까지의 서구 과학교육 연구 내 NOS 개념화 전통은 물론, 현 시점에서 논의되고 있는 NOS 교육의 동향을 파악하는 것은 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 NOS의 본유적 가치를 다양한 학문적 렌즈를 통해 과학이 기능하는 실제 방식을 표현하는데 두어, 그러한 기능을 수행하기에 충분한 학교 과학 내 NOS 내용 요소의 표준화와 관련된 우수 과학교육 연구자들의 의견들을 고찰하고자 한다. 그러한 목표를 가지고 먼저, 2010년 전후를 기준으로, 주로 Derek Hodson, Douglas Allchin, Zoubeida R. Dagher, Sibel Erduran, Richard A. Duschl, Michael R. Matthews 등의 저명 과학교육 연구자들의 NOS 주제 관련 문헌을 탐색하여, 현재 세계 여러 나라의 NOS 교육의 중심축을 형성하고 있는 ‘합의 NOS 관점(consensus view of NOS)’(Chang, Chang, & Tseng, 2010)에 대한 논쟁적, 비판적 견해들을 자세히 살펴 볼 것이다. 나아가 합의 NOS 관점에 대한 대안적 NOS 관점들은 무엇이며, 그 내용 요소들은 어떠한지 고찰하여, 그 함의를 도출하고자 한다.

II. 합의 NOS 관점에 대한 논쟁과 비판

합의 NOS 관점은 지금까지 세계 여러 나라의 과학 교육과정에서 NOS 교수·학습에 적용되어 온 NOS 관련 내용 지식 또는 하위 구성 요소들을 말한다. 이때, ‘합의’란 용어를 사용한 것은 많은 과학교육 연구자들이 NOS를 개념화하는 가운데 보여준 NOS 하위 요소들의 유사성에 말미암은 것이라고 할 수 있다. 그러므로 합의 NOS 관점은 과학 지식의 보편성과 학습자의 인지적 수용가능성을 고려할 때, ‘어느 정도 일반화’하여 학교 과학교육에 적용하고자 도출한 과학에 대한 인식론에 해당한다. 구체적으로는, 미국의 Lederman *et al.*(2002) 또는 Lederman(2007)이 제안한 여덟 가지 또는 일곱 가지 리스트 형태의 선언적 문장으로 구성된 ‘과학 지식의 본성(nature of scientific knowledge, 이하 NOSK)’을 지칭한다(Lederman & Lederman, 2014)(Table 1).

Table 1. Consensus view of NOS (Lederman, 2007; Lederman & Lederman, 2014)

합의 NOS 관점의 내용 요소 일곱 가지
1. 관찰과 추론은 다르다.
2. 법칙과 이론은 서로 다른 지식 유형이다.
3. 자연 세계에 대한 관찰로부터 유도되거나 기반을 두기 때문에 과학 지식은 경험적이다.
4. 과학 지식은 인간의 상상력과 창의력을 포함한다.
5. 과학 지식은 주관적이다.
6. 과학 지식은 사회적 맥락의 영향을 받는다.
7. 과학 지식은 절대적이거나 확실한 것이 아니라, 잠정적이고 변하기 마련이다.

NOS 개념화 전통에 나타난 결과들은 열 네가지 항목으로 구성된 리스트(McComas & Olson, 1998)로부터 네 가지 항목으로 표현된 Eflin, Glennan, & Reisch(1999)의 제안까지, 얼마나 많은 문장들로 리스트를 구성하는가의 차이를 보이는 가운데, 대체적으로 일반화 가능한 공통성을 가지고 있다고 할 수 있다. 이와 같이 어느 정도 합의에 도달한 공통된 NOS 내용 요소들은 과학교육 내 NOS 관련 연구에 폭넓게 사용되어 왔으며, 미국을 비롯한 우수 국가의 NOS 교육 내용의 근간일 뿐만 아니라 평가의 대상으로 자리 잡아 왔다. 특히, 학생과 교사의 NOS 이해를 진단하는 경험적 연구나 NOS 이해를 증진하고자 교육 프로그램을 개발하여 효과성을 진단하는 연구에 Lederman(2007)의 합의 NOS 리스트가 미친 영향력은 중대하다고 할 수 있다(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000b; Ackerson & Donnelly, 2008; Chang, Chang, & Tseng, 2010).

이러한 일반화하여 적용 가능한 과학의 속성들은 완전한 HPSS적 합의 여부를 떠나 교육적 가치를 갖는다고 여겨져 왔다. 그것은 NOS 개념화 전통에 나타난 여러 NOS 리스트들이 보여주는 공통성은 우연적 일치가 아니기 때문이다. 하지만 유념해야 할 것은 그러한 NOS 리스트들은 완벽하거나 고정된 것이 아니라 교육적 적합성과 관련성 측면에서 열린 선택에 해당하는 것이다.

과거 Good & Shymansky(2001)는 그 당시 제안된 합의 NOS 관점들의 내용 요소들과 대동소이한 미국의 과학적 소양 표준(Benchmarks for Science Literacy)(AAAS, 1993)과 국가과학교육표준(National Science Education Standards, NSES)(NRC, 1996)에 기술된 NOS 내용을 분석하여, 각 문서들에 드러난 과학에 대한 모순적 인식론을 비판의 골자로 지적한 바 있다. 다시 말해, 과학의 잠정성과 지엽성을 부각시키면서도, 동시에 지속성이나 보편성을 강조하는 표현은 지나치게 후기 모더니즘(post modernism)에 속하거나, 일부는 모더니즘에 가깝다고 진단하였고, 이를 두고 과학에 대한 인식론을 사회학, 더 나아가 예술이나 인문학에 대한 인식론과 대등한 것으로 이끌고 있다고 비판하였다(Good & Shymansky, 2001). 구체적으로 예를 들면, 과학의 복잡한 국면에 대하여 “과학 지식은 잠정적이라든가 변하기 마련이다.(Scientific knowledge is tentative or subject to change.)”라고 기술하면서 동시에, “과학 지식은 안정적이다.(Scientific knowledge is stable.)”고 표현하거나, “변화는 과학의 영속적인 특성이다.(Change is a persistent feature of science.)”라고 기술하면서, “지속성은 과학의 영속적인 특성이다.(Continuity is a persistent feature of science.)”라고 하거나, “과학자들마다 서로 다른 것은 정상이다.(It is normal for scientists to differ with one another.)”라고 하면서 “과학자는 의견의

일치를 추구한다.(Scientists work toward consensus.)”고 설명하는 것을 말한다(AAAS, 1990, pp. 2-3).

비단 합의 NOS 리스트에 대한 부정적 시각이 과학의 지속성 또는 잠정성 주제에 머물고 있는 것이 아니라는 사실은 많은 연구들(Allchin, 2011, 2013, 2017; Clough, 2007; Dagher & Erduran, 2014, 2016, 2017; Deng *et al.*, 2011; Elby & Hammer, 2001; Erduran & Dagher, 2014a; Hodson, 2008, 2009, 2014; Hodson & Wong, 2017; Rudge & Howe, 2013; Rudolph, 2000; Settlage, Madsen, & Rustad, 2005; Wong & Hodson, 2009)에서 확인할 수 있다. 이와 관련하여, Matthews(2001)는 NOS에 대한 합의 관점들, 특히 “Lederman Seven(p. 12)”에 대해 엄정한 검토를 한 후에, 진정으로 NOS 교수·학습에 도움이 되려면 “철학적으로 또한 역사적으로 상당히 정교화되고 발전해야 한다.(much more philosophically and historically refined and developed)(p. 12)”고 주장하였다. 최근 Allchin(2017)은 “합의 NOS 관점은 유행에 뒤떨어진 것이다.”라고 표현하며, “합의 NOS 관점이 더 이상 합의를 누리지 못 하고 있다.(Ironically, the ‘consensus view’ about the nature of science (NOS) no longer enjoys consensus.)(p. 18)”고 풍자하기도 하였다.

특히, 2000년대 전후로 합의 NOS 관점과 관련하여 논쟁을 촉발한 것은 지속적으로 NOS 교육 관련하여 자신의 주장을 개진해 온 Derek Hodson이 현시점의 NOS 교육의 동향, 즉 Norman G. Lederman과 동료들이 제안하여, NOS에 대한 ‘합의 관점’으로 인용되면서 과학교육 연구 및 과학교육과정 수립에 막강한 영향력을 행사하는 합의 NOS 관점에 대해 다각적인 비판을 담은 논문들을 발표하면서 부터라고 할 수 있다. 이에 국제적인 우수 과학교육 연구자들이 각자 또는 연구 공동체적으로 합의 NOS 관점에 대한 나름의 비판, 옹호, 재검토 및 재개념화를 위한 의견을 감론을 바탕으로 내어 놓고 있다. 일례로, 2017년 <캐나다 과학, 수학 및 기술 교육 저널(Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education> 17권 1호는 Hodson & Wong(2017)의 논문이 다른 합의 NOS 관점에 대한 비평과 제안에 대한 각국 연구자들의 리뷰를 모아 구성하였는데, 이를 통해 미래 사회를 겨냥한 NOS 교육의 방향을 결정하는 것은 결코 쉽지 않은 과제를 확인시켜 주기도 하였다.

합의 NOS 관점에 관련된 비판과 대안적 관점들은 ‘무엇을 과학교육과정에 표준화하여 적용해야 하는가?’라는 질문에 머무는 것이 아니라, ‘왜 NOS를 교육해야 하는가?’라는 좀 더 근본적인 질문으로 회귀하도록 이끌고 있다(Dagher & Erduran, 2016). 이에 과거 NOS에 대한 관점의 불일치가 존재하는 상황을 감안하여, ‘NOS 표준화’는 불가능하다고 강조했던 HPSS 연구자들의 주장들(Alters, 1997)은 현 시점에도 유효하여, 지금까지 과학교육 연구자들이 기울여 온 NOS 정의를 내리고자 한 결과들과 그 과학의 경계 관련 기준을 제공하고 자 하는 노력이 모두 실패라고 진단되기도 하였다(Alters, 1997; Laudan *et al.*, 1986; Ziman, 2000). 그러므로 NOS 교육이 봉착한 근본적인 어려움은 여전히 NOS의 정의 또는 경계 설정의 문제들이라고 할 수 있다(Alters, 1997).

현재 합의 NOS 리스트를 중심으로 전개되는 NOS 교육의 형세는 근본적으로 합의 NOS를 강령적 개념으로 간주하도록 이끄는 오류를 범하고 있다(Osborne, 2017). 강령적 개념은 “프로그램이나 관점(a programme or a point of view)(Ennis, 1969, p. 179)”에 대해 이미

‘채택’을 전제로 한 것이므로, ‘합의’라는 수식어가 암시하는 유일성, 보편성의 뉘앙스는 합의 NOS 관점을 당연시하도록 이끌어, 학교 과학 수업 내 NOS 교수·학습의 방향에 그 의미에 내재된 명시적 또는 암묵적 요구에 의존하도록 이끈다는 것이다.

이에 지금까지 NOS 개념의 재고 또는 재개념화를 주장하는 많은 과학교육 연구들이 제시한 합의 NOS 관점에 관련된 비판적 주장들과 논쟁적 요소들을 다음과 같이 열거하여 고찰하고자 한다.

먼저, 전체적으로 볼 때, 합의 NOS 리스트에 포함된 과학의 잠정성, 주관성, 창의성, 사회문화적 차근성 등을 기술하는 각 선언적 문장들은 인간 활동 전반에 적용 가능한 지극히 평범한 설명으로서(Dagher & Erduran, 2016), 예를 들어, 미국의 과학교육 지침 상에 과학의 속성으로 표현된 ‘과학은 자연 현상을 설명하고자 시도한다’든가, ‘과학은 기술 발달에 중요한 역할을 해왔다’(McComas & Olson, 1998)는 설명들은 학생들이 과학은 무엇인가를 이해하는데 통찰력을 제공하지 못한다고 지적되고 있다. 사실상 모든 인간의 활동의 산물은 잠정적이고, 모든 형태의 지식 형성은 창의적이며, 다각적으로 사회 및 문화의 영향을 받는 것은 자명하기 때문에 과학에만 적용 가능한 설명이 아니라는 것이다(Hodson, 2014; Kampoulakis, 2016). 이를 두고, 지극히 평범하며 단순한 리스트, 즉 합의 NOS 리스트에 대해서, 없는 것보다는 그나마 낫다고 치부할 수 없다는 입장을 취하거나(Allchin, 2011), 합의 NOS 리스트의 효용에 대해 ‘오직 사회 내에서 유일하게 타당성을 갖는 지식이라는 과학의 보잘 것 없는 위상을 강조하기 위한 것’일 뿐이라고 표현하기도 한다(Wheeler-Toppen, 2005). 또한, 지나치게 사소하거나, 단순하며, 혼란스러운(Allchin, 2017; Grandy & Duschl, 2008; Hodson, 2014) 합의 NOS 리스트는 과학자의 실형 부분을 누락시킨 반면에, 정적인(inert) 과학의 결과만을 다루고 있으므로, 더 이상 이를 묵과할 것이 아니라, NOS 개념 자체에 ‘탐구해야 할 대상’으로서의 지위를 제공하여야 하며, 과학에 대한 아이디어를 다양한 목표에 적용하도록 하는 안내를 포함해야 한다고 주장되기도 한다(Yacoubian, 2012). 덧붙여, 합의 NOS 관점은 몇 가지 필수적 요소만을 다루는 리스트 형태를 취함으로써, 학습자의 비판적 사고를 이끌기보다는, 일방적으로 전달되어 암기해야 할 내용 지식으로 전락할 수 있으며, 학습자의 발달 단계에 따른 적용의 경로를 제공하지 않는다는 비판에도 취약하다고 할 수 있다(Clough, 2007).⁶⁾

이러한 합의 NOS에 대한 부정적 시각은 그 리스트에 포함된 과학에 대한 설명의 각 측면에 대해 크게 다음과 같은 비판적 논리에 토대를 두고 있다.

첫 번째는 과학의 잠정성에 대한 것으로서, 이는 교육적 견지에서 학생들이 과학의 잠정성을 말 그대로 해석하는 것은 역효과를 낳아, 모든 과학이 일시적이라고 생각하도록 이끌 수 있다는 우려를 담고 있다. 실제로 과학이 잠정적인 이유는, 과학이 실험적 증거에 기반을 두며, 그 시대적 이론에 의해 수집되고 해석되므로, 시간이 흐른 뒤에는 바로 그 자료에 의해 이론은 변화할 수 있기 때문이다. 결과적으로 지식의 생성에 대한 완전한 확신, 절대적 진리는 가능하지 않은 목표라는 것을 인정한다 하더라도, 현재 우리의 이론 체계가 수정되고,

6) 학교 과학에서는 보편적 NOS를 다루어야 한다는 관점을 지지해 온 Abd-El-Khalick(2012b)은 더 이상 NOS 관련 논쟁들에 대해 침묵하거나 옆으로 비켜 있을 것이 아니라, 현재 널리 수용되고 있는 합의 NOS 관점을 학습자의 발달 단계에 따라 교육할 것을 제안한 바 있다.

심지어 거부될 가능성이 있다 하더라도, 지금까지 인간이 구축한 우주 만물에 대한 지식을 과소평가하도록 이끈다면, 과학 지식의 잠정성을 교육함으로써 전달하고자 하는 진정한 과학의 모습을 왜곡할 수 있다는 것이다. 따라서 과학의 잠정성을 충분한 설명없이 제시하는 것은 잠정성에 밀접한 연관성을 갖는 쟁점들, 즉 이론이 잠정적일 지라도 어떤 현상, 사건에 대하여 특이적 주장은 사실일 수 있으며, 대부분의 이론은 처음에는 잠정적이지만, 정교화를 거쳐 성공적으로 사용됨에 따라 다른 이론과 부합하게 되고, 증거에 의해 검증되어 이론화된다는 과학의 발달 과정을 설명하는데 있어서 심각한 오류를 범하는 것이라고 할 수 있다. 부연하자면, 과학의 잠정성을 문자 그대로 수용하는 것은, 모든 과학이 일시적일 뿐이라는 관점을 심어줄 수 있기 때문에, 과학과 기술의 발달이 가져오는 기존 지식의 수정과 정교화라는 발달적 특성을 호도하게 된다(Harding & Hare, 2000). 왜냐하면, 많은 과학의 이론 체계가 여전히 수정이나 폐기라는 변화성을 소유한다 하더라도, 자연 현상에 대한 구체적이지만 임시적인 설명은 설사 이론적 기반이 잠정성을 갖는다 해도 ‘사실’로 간주 될 수 있으며, 실제로 과학자들은 기존 지식에 기반을 두지 않는 이상 진전을 이루지 못할 것이기 때문이다(Hodson & Wong, 2017).

두 번째는 법칙과 이론 및 관찰과 추론 사이의 구분과 관계에 관한 것이다. 실제 연구를 수행하는 과학자 공동체에서도 이론이나 법칙이라는 용어를 사용하는데 혼란을 보이며(Cheong, 2014), 이론 및 법칙의 기능과 관계를 아는 것이 실제 과학자들에게 그렇게 중요한 문제가 아님에도, 법칙과 이론이라는 과학 지식의 범주 용어의 차이점을 아는 것이 현대적 과학적 소양 교육에서 중시하는 SSI에 대한 합리적 의사결정과 어떤 관련성을 가는지 문제를 삼고 있다(Wong & Hodson, 2010).

또한, 합의 NOS 리스트에서 강조되는 관찰과 추론 사이에 결정적 차이가 존재한다는 관점은 관찰의 이론 의존성을 고려한다면, 지극히 순진한 주장이라는 것이다. 이와 관련하여 Hodson(2014)은 관찰과 추론 사이의 차이점을 부각하는 것은 특히, 학생들이 현시대의 기술 의존적인 과학의 발달을 이해하는데 도움이 되지 못 한다고 지적하였다. 이는 새로운 이론이 등장하거나 더 나은 기술을 사용하게 될 때, 관찰에 해당하는 것은 무엇이고, 추론에 해당하는 것은 무엇인가에 대한 구분은 변할 수 있기 때문이다. 관찰의 이론 의존성을 자세히 살펴보면, 그 차이점은 언제나 적용되는 명확한 것이 아니라, Feyerabend(1962)가 지적했듯이, 관찰은 오로지 상대적으로 신뢰성이 높을 때, 즉 계산, 질문, 추론을 거칠 필요없이 우리가 빠르게 동의할 수 있는 사건과 현상에 대한 것이고, 이론이란 필연적으로 직관적 관찰에 바탕을 둔 것이므로, 우리가 관찰인가 아니면 추론인가의 경계를 구분할 때는 과학 지식의 정교함, 지식에 대한 자신감, 경험이나 및 연구되는 현상과의 익숙한 정도를 반영하게 된다. 다시 말해, 이론이 잘 이해되고 당연하게 받아 들여질 때, 이론적인 언어는 관찰 언어에 해당하고, 관찰 결과를 보고하는 과정에서 이론적인 용어를 사용하게 된다. 게다가 이론에 기반을 둔 용어가 관찰을 위해 사용되지 않는다면 결코 과학의 진전을 이룰 수 없다는 것이다. 진정한 원시(raw) 자료라든가 이론으로부터 자유롭다고 간주할 수 있는 관찰은 존재하지 않는다는 의미이다. 따라서 합의 NOS 관점이 법칙과 이론 및 관찰과 추론의 구분 또는 관찰의 이론 의존성을 단지 강조만하는 것은 과학적 실행을 이해하거나 과학자로서 기능하는데 필요한 역량을 이해하는 것과

거리가 멀다고 주장된다.

세 번째는 합의 NOS 관점이 과학 탐구 또는 과학의 과정 측면을 포함하지 않는 것에 관한 비판으로서(Dagher & Erduran, 2016; Hodson, 2009, 2014), 포함되어 있다고 하더라도, 현대적 실재를 포함하고 있지 않는 것을 문제 삼고 있다(Kampoulakis, 2016). 이를 달리 말하자면, 합의 NOS 관점에는 과학적 실행이 소유한 분야별, 교과별 차이점, 즉 영역 특이성이나, 과학 지식 생성 방법의 다양성, 역동성을 부각할 수 있는 현대적 탐구의 본성이 누락되어 있음을 지적하는 것이다. 즉, 합의 NOS 관점은 정적인 과학의 결과에 치중하여 과학 영역에 따른 지식 생성을 위한 과학적 실행의 복잡성과 다양성을 반영하는 기능을 수행할 수 없다고 여겨진다(Hodson, 2009, 2014).

과학의 전 분야에 공통적으로 적용 가능한 과학의 방법이나 요소들이 존재하지 않음에도, NOS를 ‘일반화’를 목표로 개념화 하는 것은 여러 과학 분야의 개별적 속성을 간과하는 것이라고 할 수 있다(Kampoulakis, 2016). 따라서 간소한 형태를 추구하여 필수적인 탐구의 요소만을 다루는 합의 NOS 관점은 구태의연하고, 불충분하며 오류를 범하도록 이끌고 있다고 평가되고 있는 것이다(Allchin, 2011; Duschl & Grandy, 2013; Hodson, 2014; Irzik & Nola, 2011a; Matthews, 2012; van Dijk, 2011). 결과적으로, 가설 설정, 변수 제어 등의 과정을 따르는 전통적 실험이 거의 불가능한 과학 영역들과 관련된 과학적 실행에 대한 정보를 포함하지 않고 있다는 의미이다. 이를 두고, Dagher & Erduran(2016)은 합의 NOS 관점이 첨단 탐구 도구를 사용하는 21세기 과학의 특성을 반영하지 못하고 있다고 지적한 바 있다.

Hodson(2009)은 과거 과학의 과정을 대표하던 ‘실험’ 개념이 ‘과학적 설명과 모델의 구성과 수정’으로 전환된 사실을 들어, 합의 NOS 관점이 제공하는 탐구에 대한 오개념을 비판하였다. 즉, 합의 NOS 관점은 과학 지식 체계 내에서 모델이 수행하는 중요한 역할을 제외하여(Grandy & Duschl, 2008), 과학 지식의 발달 과정에 포함된 이론, 증거, 설명, 모델의 역할을 규정하는 변증법적 과정을 충분히 설명하고 있지 못하고 있다는 의미이다. 이러한 탐구 개념의 변화는 과학 탐구에서 새로운 기술 및 이론의 발달이 가져온 관찰의 본성이 변화한 것과 밀접한 관계를 갖는다. 예를 들어, 더 정확한 달력을 만들고자 천문학이 발달한 것이나 더 효율적인 증기 기관을 개발하기 위해 열역학이 발달한 것처럼, 역사적인 과학의 발달이 실질적 요구에 의해 촉발되고 부응하는 것이었다면, 오늘날의 과학 탐구는 막강한 기술 발달에 서로 의존하면서 청정 에너지 개발과 같은 좀 더 급박한 사회적 문제를 다루고 있다. 이러한 과학에 대한 사회적 요구는 과학교육 내 탐구의 역할에 대한 이미지 역시 변화하도록 이끌었다. 현재 실질적 문제에 기반을 둔 새로운 과학 지식이 탐구의 목표이자, 탐구의 결과가 되고 있으므로, 이에 과학교육의 역할 역시 한 개인의 과학 지식 습득 내지, 미래의 과학자를 양성하는 목표에 집중하던 것으로부터, 모두를 위한 과학으로 패러다임의 전환이 일어났으며, 또한 전통적으로 우리가 이미 알고 있는 것에 집중하던 것으로부터 무엇인가를 알아가는 방식을 가르치는 것으로 변화하고 있다고 할 수 있다. 이러한 흐름은 과거 과학의 내용과 과정 중심의 과학교육으로부터 증거와 설명 사이의 관계를 중시하는 과학교육으로, 과학 개념 이해에 집중하던 수업으로부터 과학 개념을 사용하여 개념에 대해 추론하는 것을 강조하는 방향으로의 전환을 의미한다. 그러한 추론 과정에

서는 그 배경이 되는 사회적 맥락 또한 고려의 대상이 되므로, 결국 사회적 맥락 내 과학적 주제에 대한 학습을 강조한다는 것이라고 판단된다.

덧붙여, 탐구 관점의 변화에서 주목해야 할 것은 주로 일차적 감각이나 도구를 사용한 감각적 인지를 거쳐 획득한 증거를 통해 과학 지식이 생성된다고 보다는, 이론에 기반을 둔 관찰로부터 획득한 증거 측면을 다루는 것이며, 앞서 언급한 바와 같이, 과학의 과정이 전통적인 실험과 관찰로부터 이론과 모델 구성 및 수정으로 변화했음을 의미한다. 따라서 이와 같은 현대적 탐구의 특성을 교육하기 위해서는 학교 과학의 NOS 교육 내용에는 과학적 탐구의 본성(nature of scientific inquiry, 이하 NOSI)을 포괄해야 한다고 강조되고 있다. 특히, Hodson(2009)은 지속적으로 과학적 탐구에 대한 이해 영역을 기존 NOS 영역에 통합해야 한다는 주장을 펼쳐왔는데, 그가 제시한 인식론적 주제들(epistemological themes)은 다음과 같다.

- 과학 탐구를 통해 생성된 과학 지식의 역할과 지위
- 과학 이론의 구성에 수반되는 모델링
- 이론 발달의 사회적, 지식적 환경
- 사회적 공동체로서 과학자들이 연구하는 방식
- 지식적 주장을 검토하고 검증하여 발표하는데 관련된 언어적 관습
- 과학이 사회적 맥락과 상호작용하는 방식

위의 요소들과 같은 과학적 탐구에 대한 이해의 영역을 통합한 NOS 개념을 지지하는 연구자들의 주장에 대한 응답으로, Lederman *et al.*(2002), Lederman(2006) 및 Lederman & Lederman(2014)은 현재 우리가 사용하는 NOS라는 용어는 엄밀히 말하자면 NOSK에 해당하므로, NOS라고 불리는 내용들을 NOSK로 간주한다면 오해의 소지가 적을 것이라고 언급하였고, 덧붙여 용어 사용의 혼란이 NOS 연구의 걸림돌이라고 표현한 바 있다.⁷⁾ Lederman의 그러한 소명에 대해 Hodson(2014)은 NOSK만을 NOS에 포함하는 것에 반대하는 이유로서, 과학 지식의 대부분은 과학적 탐구를 통한 설계, 실행, 결과 보고에 의해 생성되므로 과학 지식의 지위, 타당성, 신뢰성 또한 과학 탐구에 의존한다고 주장하며, NOS에 NOSI를 통합해야 함을 다시 한 번 강조하였다. 실제 NOS에 초점을 둔 교수 활동이 탐구와 연계하여 이뤄지는 경향이 있으므로, Ryder(2009)가 지적한 바와 같이, 탐구의 실행과 과학에 대한 인식론적 측면들은 개념적, 과정적, 교육적 연관성을 갖는다고 할 수 있다.

한편, Grandy & Duschl(2008)은 Lederman(2007)이 탐구와 NOS 사이의 밀접한 관련성을 강조하면서도, 탐구를 과학의 방법이나 과정만으로 한정하고, 합의 NOS 관점에서는 과학 지식에 대한 인식론 측면만을 다루는 것에 대하여, 그것은 지나치게 과학 내 관찰과 추론의 본성을 단순화한 결과이며, 과학의 개념 구조에서 모델의 역할을 전적으로 배제한 결과라고 주장한 바 있다. 이후, Duschl &

Grandy(2011)는 합의 NOS 리스트는 과학 지식의 잠정성 뿐만 아니라 NOS가 포괄해야 하는 필수적 요소로서 과학자들이 탐구 방법을 변경하거나 수정하는 것은 물론, 과학 지식을 평가할 때 그 기준이 변화 가능하다는 엄연한 사실을 전적으로 무시하고 있다고 비판하였다. 달리 말하자면, 합의 NOS 관점에 포함된 과학 지식의 잠정성 측면은 ‘탐구 방법의 변경’이나 ‘지식 평가의 기준’을 염두에 두도록 이끌지 않기 때문에, 과학 지식의 잠정성 뿐만 아니라, 탐구 방법 및 지식 평가 기준의 변화성을 포함해야 한다는 의미이다.

네 번째 비판의 요지는 현대적 HPSS 논의에 존재하는 핵심적 쟁점들을 포함하지 않는 것에 관련된다. 이는 합의 NOS 리스트는 과학적 합리성을 판단할 때 근간이 되는 가장 흥미로운 특징들, 예를 들어, 사실주의와 도구주의 관점에서의 과학 지식의 지위에 관련된 문제라든가, 과학이 사회적으로 구성되는가 아니면 결정되는가의 문제를 포함하고 있지 않다는 것이다(Hodson, 2014; Wong & Hodson, 2010). 즉, 과학자들이 연구를 수행하는 과정에서 이론을 선택할 때, 과학자들 사이의 의견 교환과 같은 합리적 과정을 따르는지, 아니면 사회적 요구나 대중의 심리를 따르는가의 문제는 직접적으로 과학 지식이 어떻게 생성되고 검증되는가에 대한 설명이기 때문에(Lakatos, 1970; Zammito, 2004), 이러한 측면을 간과하는 것은 진정한 NOS 교육에 부합하지 않는다고 판단되고 있다. 이것은 가장 중요하고도 민감한 현대 과학의 특성에 해당하는 ‘현대 과학 지식의 사회적 구성성’ 역시 과학의 합리성이라고 주장되기 때문이다(Kötter & Hammann, 2017).

다른 한편으로는, 합의 NOS 관점에 대한 비판적 시각에 대해 우려를 표하는 과학교육 연구자들은 교육적 NOS 내용에 대해 논란을 가중하는 철학적 견해들 즉, 과학 지식은 오직 사회적 구성을 통해 전파된다는 상당히 상대주의적 견해를 피력하거나(Pomeroy, 1993), 과학자의 증거 선택은 전적으로 이론적 편향에 의존한다는 극단적 주장을 하고 있음을 지적하여, 이와 같은 논쟁의 종결을 위해 NOS에 대한 심대한 사회학적 연구의 필요성을 제기하기도 하였다(Abd-El-Khalick, 2012c).

자세히 들여다보면, 우리나라를 비롯한 여러 나라의 과학교육 지침들은 합의 NOS 관점의 내용 요소들 중에서 철학적, 교육적 논쟁의 중심에 존재하는 일부 측면에 대해 침묵하고 있으며, 또한 많은 NOS 연구들은 NOS를 기술하면서 과학교육 내 핵심적 교육 지침들, 예를 들어, AAAS(1990), NRC(1996, 2012) 등이 제시한 NOS 측면들을 최대한 활용하는 것을 선택해 왔다고 할 수 있다(Abd-El-Khalick, 2012a). 하지만 과학교육 연구에 자주 인용되는 AAAS(1990), NRC(1996, 2012) 문서들은 과학 이론이라 불리는 지식 범주의 존재론적 지위에 대해 경험주의자(van Fraassen, 1998)나 사실주의자(Musgrave, 1998)의 그 어떤 입장도 취하고 있지 않으므로(Good & Shymansky, 2001), 이러한 합의 NOS 관점이 갖는 핵심적인 쟁점들에 대해 침묵하는 중간적 입장은 부가적인 혼란의 원인이라고 할 수 있다. 주지의 사실로서, 그러한 문서들이 세계 여러 나라의 NOS 교육에 미치는 영향력은 막강하기 때문이다.

현재 NOS 교육 연구자들은 NOS 교육이 앞으로 전진하기 위해서는 뒤로 물러서 큰 그림을 그려볼 것을 조언하며(Allchin, 2017), 합의 NOS 관점의 존재론적 위상을 점검하고자 노력하고 있다. 합의 NOS 관점의 가장 큰 결점 중 하나는 역설적이게도 단지 ‘합의’에 근거한 것이라는 점, 다시 말해 합의 NOS 교육은 그 내용 측면의 정당성을

7) 현재 NOS 교육연구에서 NOS 정의와 관련하여 논란거리를 제공하고 있는 쟁점들의 하나로서 언제나 등장하는 것은 NOS와 NOSI의 통합 또는 분리의 문제라고 할 수 있다(Grandy & Duschl, 2008; Hodson, 2009, 2014; Lederman, 2007; Lederman, Antink, & Bartos, 2014). 합의 NOS 관점이 NOSK에 국한된 내용 요소들만을 포함하므로, NOSI를 명시적으로 교육하는 것의 필요성과 중요성에 비추어, Lederman *et al.*(2014)은 NOS 내용 체계로부터 NOSI를 분리하여 기술하고 평가하고자, 여덟 가지 선언적 문장으로 구성된 과학적 탐구의 측면들을 제시하였다.

점검하지 않은 채, 실용주의 및 특정 노선에 의거한 비공식적 협의 (Osborne *et al.*, 2003)를 거쳐 널리 채택된 것이라는 점이다. 따라서 협의 NOS의 한계를 극복하기 위해서는 NOS에 대한 ‘협의’ 관점을 철학적으로 보다 완성된 접근법을 통해 점검함과 동시에, 현대적 과학 실행에 대한 보다 진정성 있는 설명을 확보하여 대체해야 한다고 주장되고 있다(Hodson & Wong, 2017).

결론적으로, 교육적 견지에서 우리가 던져야 하는 첫 번째 질문은 ‘어떤 NOS인가?’라기 보다는 ‘왜 NOS인가?’가 되어야 하며, 그러한 ‘왜’가 ‘무엇’을 비판적으로 알려줄 때, NOS를 어떻게 가르치고 평가할 것인가의 기본적인 질문으로 안내될 수 있다고 판단된다.

III. 대안적 NOS 관점들

미국, 영국을 비롯한 여러 나라의 NOS 연구자들은 협의 NOS 관점에 대한 비판과 함께 대안적 관점들을 제시해 왔다. 대표적으로 ‘비판적 NOS(Critical NOS)’(Clough, 2007), ‘비판적 사고력-NOS(Critical Thinking-NOS, 이하 CT-NOS)’(Yacoubian, 2012, 2015), ‘NOS에 대한 교수(Teaching about NOS)’(Kötter & Hammann, 2017), ‘전체 과학(Whole Science)’(Allchin, 2011), ‘과학의 특성(Features of Science, 이하 FOS)’(Matthews, 2012), 그리고 ‘재개념화 된 가족유사성 접근 NOS(Reconceptualized Family Resemblance Approach to NOS, 이하 RFN)’(Erduran & Dagher, 2014a; Kaya & Erduran, 2016) 등의 관점들을 들 수 있다.

먼저 비판적 NOS 관점을 주장하는 Clough(2007)는 학생들이 수용 가능한가를 잣대로 하여 과학 수업에 적용하고자 하는 기존 NOS 교의들이 교사들이 가르칠 때나 혹은 학생들의 학습 과정에서 왜곡될 가능성이 큰 일련의 리스트로 귀결되어, ‘이해되어야 할 것’이라기 보다는 ‘알아야 할 것’으로, 또한 ‘탐구되어야 할 것’이 아니라 ‘가르쳐야 할 것’으로 전락하고 있다고 진단하였다. 따라서 어떤 의미에서 과학 지식은 잠정적이며 어떤 의미에서 지속성이 있는지, 과학 지식이 어느 정도까지 사회문화적 영향을 받는지, 또는 어떻게 사회와 문화를 초월하는지, 관찰과 추론은 어떻게 다른지 또는 어떤 의미에서 차별화될 수 있는지 질문해야 한다고 강조하였다.

과학이 단지 단편적 사실의 집합이 아니라는 여러 과학교육 연구자들(Eflin, Glennan, & Reisch, 1999)의 주장과 마찬가지로, Clough(2007)는 NOS 내용 요소들이 몇 가지 선언적 문장들의 리스트로 제시되는 것에 반대하며, Table 2와 같이 토론을 유발할 수 있는 질문 형태로 주어져야 한다고 주장하였다.

Clough(2007)가 학습자의 수준에 따라 NOS를 풍부하게 다룰 수 있도록, NOS에 대한 비판적 사고 과정을 포함하는 질문 형태의 비판적 NOS 관점을 제안한 배경에는 지금까지 협의 NOS 관점을 가르친 결과로부터 발생한 부작용을 보고한 많은 경험적 연구들이 존재한다. 예를 들면, 학생들이 “모든 지식 주장은 동등한 지위를 갖는다 (Abd-El-Khalick, 2001, pp. 229-230; Clough, 2007, p. 35).”고 믿는 순진한 상대주의적 관점을 소유하게 되었다는 연구 결과들, 고등학생들에게 과학 지식의 잠정성을 가르친 결과, “과학 지식은 모두 절대적 사실에 해당한다.”는 인식으로부터 반대편 극단적 관점인 “과학 지식은 믿을 수 없는 것이다(van Dijk, 2011, p. 1092).”라는 방식의 사고를 하게 되었다는 결과들이 보고되어 왔기 때문이다.

Table 2에서 볼 수 있는 Clough(2007)가 제시한 질문 형식의 비판적 NOS 관점은 학생들로 하여금 NOS 개념이 갖는 다양성을 존중하는 논변의 문화(culture of argumentation)에 참여하도록 이끌어야 한다는 Wheeler-Toppen(2005)의 주장과 유사하다고 할 수 있다. Clough(2007)는 논변의 중심 주제로 질문 형태의 NOS를 채택하여 학생들이 사고하고 말하도록 하는 것이 진정 NOS를 학습하는 방법이라고, 그들의 일생에서 과학을 적절히 사용하도록 이끄는 방법이라고 제안한 것이다. 또한, 그는 교의가 아닌 질문으로 제시된 NOS를 가르치는 가운데, 학생들이 맥락, 개념적 이해, 철학적 입장 등을 언급할 기회를 갖도록 이끄는 것이 중요하다고 강조하였다. 이와 같은 질문형 NOS를 적용한 교수·학습에서 염두에 둘 것은, 모든 철학적 입장이 동등한 가치를 갖는다는 지나치게 단순한 다원주의(pluralism)를 가르치는 것의 위험성, 그리고 질문형 NOS이기 때문에 유발할 수 있는 맥락성 문제라고 할 수 있다(Eflin, Glennan, & Reisch, 1999). Matthews(1997) 역시 이러한 지적에 동감하여, 논변 중심의 진보적인 NOS 교수의 핵심은 NOS 교의를 주입하는 것이 아니라, 학생들이 서로 관련된 이슈들, 맥락적 속성, 서로 다른 관점이 존재하는 이유를 이해하도록 교육하는 것임을 강조하였다.

Clough(2007)의 제안과 유사한 맥락에서 Yacoubian(2012, 2015)은 협의 NOS 관점이 소유한 맹점으로서, 특히 학생들로 하여금 NOS 자체를 탐색하도록 이끌지 못하고, 학습자의 발달 단계를 고려한 해법을 제시하고 있지 않은 점을 비판하며, 학습자의 발달 단계에 따라 NOS를 가르칠 수 있는 수업을 개발하기 위한 CT-NOS 프레임에 제안하였다. CT-NOS 프레임에 적용한 교육과정은 첫째, 학생들의 SSI에 대한 의사결정 능력을 배양하기 위한 도구로서 NOS 교수를 목표로 한다, 둘째, 비판적 사고력에 토대를 둔다, 셋째, 비판적 사고력을 학습 발달의 단위로 하여, NOS 학습의 발달 경로를 제공한다는 세 가지를 핵심 목표로 삼는 것으로, 학생들에게 NOS를 전달하는 대신,

Table 2. NOS Questionnaire (Clough, 2007)

협의 NOS 관점에 기반을 둔 질문형 NOS
1. 어떤 의미에서 과학 지식은 잠정적인가? 어떤 의미에서 지속성이 있는가?
2. 과학 지식은 어느 정도까지 경험적 관찰에 기반을 두는가? 혹은, 어떤 의미에서 항상 경험에 기반을 두는 것은 아니라고 할 수 있는가?
3. 과학자와 과학 지식은 어느 정도까지 주관적인가? 또한, 어느 정도 객관적인가?
4. 어떤 의미에서 과학 지식은 인간의 추론, 상상력, 창의성의 산물인가? 어떤 의미에서 그렇지 않은가?
5. 과학적 지식은 어느 정도까지 사회적, 문화적 산물인가? 어떤 의미에서 사회와 문화를 초월하는가?
6. 어떤 의미에서 과학 지식은 발명되며, 어떤 의미에서 발견되는가?
7. 과학적 방법으로 과학을 왜곡한다는 개념은 실제로 어떻게 작동하는가?
8. 어떤 의미에서 과학 법칙과 이론은 서로 다른 지식 유형인가? 어떤 의미에서 연관성을 갖는가?
9. 관찰과 추론은 어떻게 다른가? 어떤 의미에서 구분하기 어려운가?
10. 사적인 과학은 공적인 과학과 어떻게 다른가? 어떤 측면에서 유사한가?

학생 스스로가 NOS 관점에 대해 판단하고, SSI에 대한 결정을 내리는 연습을 하는 과정에 중점을 둔다는 의미이다.

따라서 Yacoubian(2015)은 첫 번째 단계에서 학생들은 NOS의 관점에 대해 판단하기 위해 비판적 사고를 필요로 하며, 두 번째 단계에서는 획득한 NOS 이해를 사용하여 SSI에 대한 결정을 내리게 된다고 설명하였다. 이와 관련하여 “논쟁적인 SSI의 맥락에서 NOS 이해와 논변 기술 사이에 어떤 관계가 존재한다.”고 결론을 내린 Khishfe (2012, p. 94)의 연구는 CT-NOS 프레임을 지지할 수 있는 증거에 해당한다. 이에 여러 연구자들은 NOS 교육에 있어서, 학생들이 논변에 참여할 수 있도록 그 능력을 개발하는 것의 중요성을 강조하고 있으며(Erduran & Jimenez-Aleixandre, 2007), 따라서 비판적 사고와 논변 기술은 과학에 대해 반성적으로 사고하기 위한 진정한 교수법의 전제 조건이라고 여겨지고 있다(Kötter & Hammann, 2017).

리스트 형태로 주어진 NOS의 내용을 교사가 강의식으로 전달하여 학생들이 그 이해를 발달시키도록 하는 교수법에 반대하며, NOS 교수와 SSI 교육을 위해서는 학생들에게 비판적 사고력을 신장할 수 있는 기회, 특히 논변의 역할을 강조한 Yacoubian(2015)이나 Khishfe (2012)와 마찬가지로, NOS 교수·학습 과정에서 ‘과학에 대한 반성적 담화’의 중요성을 강조한 Kötter & Hammann(2017)는 NOS 교육 연구에 접철되어 온 HPSS적 쟁점들까지 포함하여 교육해야 한다고 주장하면서, ‘NOS 교수(Teaching NOS)’와 ‘NOS에 대한 교수(Teaching about NOS)’, 즉, 과학 수업에서 ‘과학-반성적 메타 담화(science-reflexive meta-discourses)’ 자체를 포함하는 것을 분리하여 기술하였다.

흔히 일상생활과는 관련성이 적고, 학생들의 인지 수준에서 수용하기 어렵다는 이유를 들어, ‘NOS에 대한 교수’를 반대하는 의견에 반박

하고자, Kötter & Hammann(2017)는 먼저, 첫째, ‘과학-반성적 메타담화’는 사회·정치적 맥락에서 대중에게 공개적으로 발생하기 때문에, 미래 시민으로서 살아갈 학생들에게도 수용 가능한 적절성을 가지며, 둘째, 여러 다른 교과에서 여타의 반성적 요소들을 가르치는 것과 유사하게 과학에서도 담화의 복잡성을 줄이는 것이 실제로 가능하다고 주장하였다. 이러한 주장의 근거로서 독일의 ‘Bewertungskompetenz’ 개념, 즉 ‘과학 맥락에서 합리적인 윤리적 의사결정을 내릴 수 있는 평가 역량(assessment competency)’을 소개하여, 과학 수업에서 과학의 윤리적 측면을 다룬 성공적인 사례로 제시하였다(Kötter & Hammann, 2017). 독일의 경우에도 국가적 과학교육기준을 기술할 때 역량 개념을 사용하는데, ‘과학적 탐구에 대한 지식, NOS, 실험 기능(knowledge on scientific inquiry, the nature of science and experimentation skills)’을 포함하는 ‘과학적 탐구 내 내용 지식 역량’ 범주에 ‘Bewertungskompetenz(assessment competency), 즉 평가 역량’이 추가된 바 있다(Kampa & Koller, 2016; Neumann, Fischer, & Kauertz, 2010). ‘NOS에 대한 교수’를 통한 의사결정 내 평가 역량 교육이 성공하기 위해서는 과학-반성적 쟁점들이 단순화 될 필요가 있으며, 과학에 대한 태도 역시 고려되어야 한다고 하여, Table 3과 같은 ‘과학에 대한 반성의 논쟁적 본성’을 가르치기 위한 프레임이 제안되었다(Kötter & Hammann, 2017).

이것은 실용성 추구라는 목표 아래, 보편타당하며 정제된 합의 NOS 관점을 NOS 교육의 중심 내용으로 간주해 온 미국을 비롯한 여러 나라의 NOS 교육의 동향과는 달리, NOS 개념에 내재한 논쟁적 본성까지 포괄하여, 학생들의 과학에 대한 인식 교육에 포함하고자 하는 시도라고 할 수 있다. 실제로 독일에서는 고등학교 상급생을 대상으로 한 철학 과목을 개설하여, 그 교과내용으로 ‘과학에 대한

rather Optimistic regarding the scope of science	rather Pessimistic regarding the scope of science
Typical Representatives	
<ul style="list-style-type: none"> • many scientists • philosophy of science • analytic tradition of science → normative approaches to NOS 	<ul style="list-style-type: none"> • science studies • continental tradition of philosophy • feminist philosophy of science → descriptive approaches to NOS
Common Positions	
<ul style="list-style-type: none"> • realism • epistemic absolutism • objectivism • rationalism • universalism • skepticism about truth • demarcation-problem important 	<ul style="list-style-type: none"> • anti-realism • epistemic relativism • subjectivism • social-constructivism • pluralism • relativism about truth • demarcation-problem misguided
Central arguments / Key points of discourse, e.g.:	
<ul style="list-style-type: none"> • Theory-ladenness: Are there scientific facts? • Under-determination: Can scientific theories be falsified? • Incommensurability: Is there scientific progress? • Norm-circularity: What is the source of scientific norms? 	

Figure 1. Attitudes toward science, NOS views and key points of NOS discourse (Kötter & Hammann, 2017, p. 475)

반성'을 명시적으로 다루고 있으며,⁸⁾ 그러한 독일의 철학 교육 목표의 하나는 여러 분야의 지식 중에서도 특히, 과학 지식의 요건, 범위, 한계 및 가능성에 대해 체계적으로 사고할 수 있는 기회를 제공하는 데 있다(NW, 2014).

최근 Abd-El-Khalik(2012b, p. 1046)은 “과학에 대한 HPSS적 논쟁이 아말로 NOS라는 개념 자체를 구성하는 요체를 대표한다는 사실을 묵과할 수 없다.”고 토로한 바 있다. 그럼에도 불구하고, Abd-El-Khalik(2012a, 2012b, 2012c)은 자신의 논문 여러 편에서 NOS의 논쟁적 요소는 대학생 수준에서나 다룰 수 있는 주제이며, 초·중·고 학생에 대해서는 여전히 보편적 NOS를 교수하는 것이 실용적임을 강조하기도 하였다. 반면에, 독일의 Kötter & Hammann(2017)은 예비 과학교사를 위한 교육과정에서 필히 과학의 복잡성에 대한 지식을 학문적으로 접근하여 학습하도록 이끌어야 하며, 고등학교 상급생의 경우에도 “사실상 NOS란 논쟁 그 자체(p. 457)”라는 사실을 마주하도록 교육해야 한다고 주장하였다. 이러한 주장과 함께, HPSS적 논쟁의 내용들을 고등학생들이 이해하도록 돕기 위해서는 지나치게 이론적인 접근을 피하여, 논쟁적 내용에 대한 양극단의 의견, 신념 및 지식을 대비하여 부각시키는 방식이 효과적일 수 있다는 교육적 예를 제시하였다(Kötter & Hammann, 2017; SL, 2008).

독일의 경우와 유사하게, 영국의 Swinbank & Taylor(2007)는 ‘메타과학’에 초점을 둔 「Perspectives on Science」라는 과학 교과서를 소개하면서, 과학교사가 자신의 수업에서 과학과 관련된 역사적, 윤리적, 철학적 질문들을 다룰 수 있도록 고안되었음을 강조하였다.

각설하여, 좀 더 획기적인 대안적 NOS 관점은 전체 과학(Allchin, 2011)에서 찾을 수 있다. 일찍이 Allchin(1997)은 ‘과학 수업에서 다루어야 할 NOS를 누가 결정해야 하는가?’라는 질문과 함께 한두 가지 방법을 통해 또는 몇몇 개인들로 구성된 그룹이 현대적 과학교육 과정에 포함해야 할 필수적이고 보편적인 NOS의 내용 요소를 결정할 수 없다고 주장한 바 있으며, NOS를 설명하는 다양한 철학적 견해들을 점검하는 과정을 통해 좀 더 정확한 과학에 대한 인식의 기준을 제공해야 한다고 강조하였다. 이후, Allchin(2011)은 선택적 리스트가 아닌 과학 실행에 대한 다차원적 요소를 모두 포함하는 NOS 개념을 제안하였다. 그것은 ‘학교 수업에서 수행되어 온 전통적 과학 실험으로부터 사회적 합의에 의한 과학 지식의 생성 과정’을 아우르는, 말 그대로 전체 과학을 의미한다(Allchin, 2013). 즉, 과학 사업(scientific enterprise)이라는 지위 측면에서 과학이 갖는 모든 요소, 예를 들면, 재정, 동기, 동료 검증, 인지적 편향, 사기, 새로운 과학기술적 방법의 타당화 등의 역할을 과학의 신뢰성 범주에 모두 포함하여 과학을 기술하는 것을 말한다. 다시 말해, 학생들은 개인적 및 공익적 의사결정에서 과학적 주장의 신뢰성에 대해 과학이 실제로 어떻게 작용하는지를 포괄적으로 이해해야 한다는 의미이다(Allchin, 2013).

Allchin(2011)은 전체 과학으로의 프레임 전환을 통해, 학생들이 어떻게 과학적 주장이 실패하는가는 물론, 과학자들이 실수의 원천을 어떻게 다루는가를 이해하도록 이끌어 과학적 실행이 갖는 모든 차원의 신뢰도에 민감하도록 하는 것이 ‘기능적 과학적 소양(functional scientific literacy)’ 배양에 필수적이라고 간주한 것이다. 이때, 기능적 과학 소양이란 지나치게 정제된 학교 과학이 소유한 문제점이 낡은

개념으로서(Allchin, 2011), 현시대에 알맞게 작동할 수 있는 과학적 소양을 의미하며, 다음 예시와 같은 SSI 관련 의사결정에서 합리적 판단을 하도록 이끌 수 있는 소양을 의미한다(Allchin, 2017, p. 19).

- 지카 바이러스(zika virus) 출현이 개인에게 일으킬 수 있는 여러 위험성 수위를 결정하는 요인은 무엇인가?
- 새로운 댐을 건설하는 것이나 광산을 개발하는 프로젝트가 초래할 수 있는 환경과 안전에 대한 위험과 관련하여 어떤 주장을 신뢰할 만하다고 인정할 수 있는가?

마찬가지로, Matthews(1994)는 합의 NOS 관점을 “수준이 낮은 과학에 대한 인식에 대한 어느 정도의 합의(p. 8)”라고 표현한 바 있으며, 이후 그러한 한계를 감안하여 합의 NOS 관점을 좀 더 포괄적인 FOS 관점으로 대체할 것을 주장하였다(Matthew, 2012). FOS는 과학이 갖는 인식적 측면의 설명력, 이론 선택, 합리성 뿐만 아니라, 철학적 주장들, 예를 들어, 페미니즘, 사실주의, 구성주의 요소를 모두 포함하는 과학에 대한 포괄적인 기술이라고 할 수 있다. Matthews(2012)가 제안한 FOS 관점이 포괄하는 주제들을 Table 3에서 볼 수 있다. 이와 같은 FOS 관점을 주장하는 것은 NOS의 필수적 측면에 집중하기보다는 좀 더 포괄적이고, 인식적 측면만을 다루기보다는 좀 더 다면적이고 이질적이며, 일반화의 성격보다는 맥락성을 존중하는 전반적인 과학의 특징을 포함하는 방향으로 NOS 교육을 전환해야 한다는 의미이며, 그러한 변화는 지금까지의 NOS 교육과 연구에 존재해 온 혼란과 맹점들을 극복할 수 있는 방법의 하나라고 간주될 수 있다. 특히, 과학 지식의 정적인 속성만을 다룬 합의 NOS 리스트를 위주하여 가르치고 평가하도록 하는 문제, HPSS 내에서 진행 중인 논쟁을 회피하는 문제, NOS 정의에 대한 역사적인 논점들을 고려하지 못하는 문제, 각 과학 분야별 접근 방식에 존재하는 차이점을 다루지 못하는 문제 등을 해결할 수 있는 처방이라고도 할 수 있다. 그러나 Matthews(2012)의 FOS 프레임 역시, 학교 과학 수업의 맥락에서 어떻게 FOS에 포함된 철학적 관점들을 다룰 수 있는가에 대한 실질적 제안을 다루지 않았다는 것이 그 문제점으로 제기된 바 있다(Erduran & Dagher, 2014a).

Table 3. FOS (Matthews, 2012)

FOS의 내용 요소	
인식적 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 • 이상화 • 모델 • 가치와 SSI • 수학적화 • 기술 • 설명
철학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 세계관과 종교 • 이론 선택과 합리성 • 페미니즘 • 사실주의와 구성주의

또 다른 방식으로 NOS를 기술하는 프레임은 ‘NOS에 대한 가족유사성 접근(Family Resemblance Approach to NOS, 이하 FRA-to-NOS)⁹⁾에

8) 독일의 국가 철학 교육과정(NW, 2014)은 철학적인 반성에 참여할 수 있는 능력을 철학 교육의 주요 목표로 규정하고 있다(Kötter & Hammann, 2017).

9) Irzik & Nola(2011a, 2011b, 2014)는 ‘NOS에 대한 가족유사성 접근’을 줄여서 FRA로 표기하였다. 이후, Kaya & Erduran(2016)은 ‘NOS에 대한 가족유

해당한다. 가족유사성 개념은 일찍이 Ludwig J. J. Wittgenstein이 기술한 것으로서, 그 이후 철학자들 및 교육자들은 가족유사성 아이디어를 각 학문 영역에 접목하고자 지속적인 시도를 해왔다(Kaya & Erduran, 2016). Irzik & Nola(2011a, 2011b, 2014)는 Wittgenstein의 가족유사성 아이디어를 NOS 개념에 적용한 이론적 FRA-to-NOS를 제안하였고, Erduran & Dagher(2014a, 2014b)는 Irzik & Nola(2014)의 FRA-to-NOS를 더욱 정교화하여, 교육적 NOS에 접목한 이론적, 실증적 프레임을 제안한 것이다.

먼저, Irzik & Nola(2014)는 Wittgenstein의 「철학적 탐구」¹⁰⁾ 문헌을 바탕으로 가족유사성을 다음과 같이 설명하였다(p. 1011).

네 가지 특성을 갖는 집합 {A, B, C, D}를 고려하면, (A & B & C) 또는 (B & C & D), 또는 (A & B & D), 또는 (A & C & D)와 같이 네 가지 특성 중 세 가지를 공유하는 네 가지의 세트를 상상할 수 있다. 마찬가지로 '전체 특성 중 일부인 다수의 공통성을 갖는(polythetic)' 경우는 다음과 같이 일반화된다. n 가지의 특성을 갖는 집합 S를 취하면, 어떤 개인이라도 S의 n 가지 특성 전부, 또는 (n-1) 가지, 또는 임의의 (n-2) 가지, 또는 (n-3) 가지 등의 공통성이 있는 경우에만 가족의 구성원이 된다.……중략…… 이러한 공통 요소의 최대값이나 최소값을 사례별 조사로서 남겨두어 임의의 한계를 부과하지 않는 것을 가족유사성 아이디어에 부합하는 것으로 보았다.

위와 같은 Wittgenstein의 가족유사성 아이디어를 NOS에 적용하는 것은 과학의 다양한 분야들을 아울러 공통성과 특이성을 소유한 하나의 가족으로 간주하여, 과학의 영역 전체적 또한 영역 특이적인 특성들을 과학이라는 가족이 소유한 특성으로 모두 수용하는 것을 의미한다. 따라서 과학의 여러 분야에 존재하는 강한 유사성과 공통성을 기준으로 몇 가지 과학의 범주를 구분하여 체계적이고, 포괄적으로 과학을 기술할 수 있으며, 또한 각 범주에 속한 특이성을 통해 과학의 맥락성을 기술할 수 있다. 예를 들어, 많은 과학 영역들은 자료 수집과 관찰에 의존하지만, 천문학이나 지질학 등의 영역은 실험이 불가능한 경우가 많기 때문에, 이같은 과학적 실험의 영역 특이성에

해당하는 속성을 NOS의 요소로서 다룰 수 있다는 것이다. Irzik & Nola(2011a) 이전에도 합의 NOS 관점과 같은 본질주의적 관점의 리스트의 한계를 지적해 온 많은 연구자들(Eflin, Glennan, & Reisch, 1999)은 Wittgenstein의 가족유사성 개념을 적용하여 과학에 접근하면서, 과학은 그 경계를 분명히 할 수 있는 개념이 아니라, 일련의 예증들의 집합으로서, 그 안에는 유사성이 존재한다고 보았다. 다시 말해, 과학은 다양한 방법론을 적용하고, 그 나름대로의 가치를 갖지만, 그러한 모든 방법을 사용하는 과학 활동이란 존재하지 않는다는 의미로서 유사성과 다양성을 표현한 것이다.

Irzik & Nola(2011a)가 설명한 FRA-to-NOS는 여러 차례 수정을 거쳐 발전하였는데, 처음에는 과학의 인지-인식적 측면에 초점을 맞춰 과학사회학(sociology of science)¹¹⁾ 관점에서 출발하였다. 즉, Merton(1973)이 제시한 '과학자들이 공유하는 규범 네 가지'를 토대로 하여, 과학을 인지-인식적 시스템으로서 소유한 네 가지 범주의 FRA-to-NOS를 기술하였다. 과거 Merton(1973)은 과학을 '고유한 가치와 규범이 조화를 이루는 체계'로 해석하면서, "사회적 시스템으로서의 과학은 과학자를 구속하는 가치와 규범의 정서적 복합체이며, 과학의 가치와 목적은 객관적인 지식 체계를 만드는 것(pp. 268-269)"이라고 간주하였다. Merton(1973)의 과학사회학에서 과학자들이 공유하는 규범으로 제시한 보편주의(universalism), 공유주의(communalism), 이해중립성(disinterestedness), 회의주의 또는 조직화된 회의(organized skepticism)의 내용을 Table 4에서 볼 수 있다.

Irzik & Nola(2011b)는 사회적 가치 및 연구 윤리(social values & research ethics)를 포함하는 제도 및 사회적 규범(institutional & social norms)(Merton, 1973) 측면을 FRA-to-NOS의 다섯 번째 범주로 도입하였다.¹²⁾ 이후, Irzik & Nola(2011b)의 과학의 사회-제도적 측면이 전문적인 활동(professional activities), 과학적 윤리(scientific ethos), 사회적 확증 및 전파(social certification & dissemination of scientific knowledge), 사회적 가치(social values)의 네 가지 범주로 분리되었다(Irzik & Nola, 2014). 보다 최근에는 좀 더 포괄적이고 체계적인 NOS 교육 프레임을 마련하는 가운데, 기존 과학의 사회-제

Table 4. Scientists' norms from the viewpoint of the sociology of science (Irzik & Nola, 2011a; Merton, 1973)

과학자들이 공유하는 네 가지 규범과 그 내용	
보편주의	과학적 주장이 과학자의 인종, 국적, 종교, 계급, 성별과 같은 특성과 무관하게, 객관적이고 합리적인 기준에 따라 평가된다는 측면에서 과학은 보편적이다.
공유주의	공유주의는 과학적 발견이나 지식의 공동 소유를 가리킨다. 이는 새로운 과학 지식의 생성은 항상 기존 지식에 기반을 두는 것과 과학적 발견은 아이디어, 정보, 기술 및 심지어 물질의 자유롭고 열린 토론과 교환에 의존한다는 사실에 근거를 둔다.
회의주의	과학자들의 주장은 과학적 추론, 시험 가능성, 방법론 및 모든 관련 사실이 포함될 때까지의 판단 중지 등의 특정 절차를 포함하는 논리적, 경험적 조사에 의존한다. 과학자들은 비판적 논의 이외의 권위에 굴복하지 않는다.
이해중립성	과학자들은 연구 결과가 자신의 이익, 이념 등에 기여하는지 여부와 상관없이 평가하고 보고해야 한다. 이해중립성 규범은 과학자들이 개인적 편견, 관심사 및 선호하는 이데올로기에 어긋나는 경우에도 탐구 결과를 숨기거나 얼버무리는 것을 미연에 방지하는 기능을 갖는다.

사성 접근'을 줄여서 FRA-to-NOS라고 표기하였다. 본 연구에서는 후자의 표기 방식을 따랐다.
 10) Wittgenstein은 자신의 「논고」에서 주장했던 언어의 논리학과는 달리, 일상 생활에서 쓰이는 언어의 의미는 결코 한 가지로 고착되지 않는다는 점을 깨달았다고 하였으며, 이러한 생각의 전환을 바탕으로 「철학적 탐구」를 집필 하였으나, 출판하지는 않았다. 「철학적 탐구」는 Wittgenstein 사후에 남겨진 초고를 합하여 출판되었다.

11) 과학사회학은 사회적 체계로서의 과학을 연구하는 사회학의 한 분야로, 미국의 사회학자 Robert K. Merton이 20세기 중반에 정립하였다.
 12) Irzik & Nola(2014)는 과학의 사회적 시스템 측면을 기술하고자, 그들의 논문 내 부제에 'institutional'을 부가한 'social-institutional system' 용어를 사용한 반면에, 본문에서는 'social system'으로 표현하였다.

Table 5. Contents in systems & categories of RFN

과학: 시스템과 범주	내용
인지 I 인식적	1. 과정 질문 제기, 자료 수집과 분석, 실험 설계, 가설 설정, 이론과 모델 생성, 다른 이론 및 모델과의 비교 등
	2. 목표와 가치 - 목표와 가치: 예측성, 설명력, 일관성, 단순성, 비옥함 - 목적: 생존력, 시험가능성, 경험적 적합성, 이론 선택의 공유된 기준
	3. 방법과 방법론적 기준 과학자들이 신뢰할 수 있는 지식을 얻는 데 사용하는 다양한 체계적인 접근법과 기준 - 접근법: 귀납적, 연역적, 귀추적 추론 등의 전략 - 방법론적 기준: 이론 선택의 기준, 실험 설계의 기준
시스템	4. 지식 법칙, 이론, 모델, 관찰 보고서, 실험 자료 등의 과학적 활동의 결과물
	5. 전문적 활동 과학자의 소통과 관련된 활동, 예를 들면, 학회 참석, 저술, 재정 지원을 얻기 위한 연구 제안서 작성 등
사회 I 제도적	6. 과학적 윤리 과학자들이 준수하는 일련의 규범 예를 들면, Merton(1973)의 규범들 즉, 보편주의, 회의주의, 이해중립성, 공유주의와 Resnik(2007)의 윤리적 기준, 즉 정직, 연구 대상자 존중, 환경 존중 등
	7. 사회적 확증 및 과학 지식 전파 예를 들면, “동료 검토에 포함되는 시험, 증거 관계 및 방법론 검토 등, 연구의 질과 관련된 인식적 제어 기제를 상위하는 사회적 제어 기제(Irzik & Nola, 2014a, p. 1014)”
	8. 사회적 가치 예를 들면, “경제적 발전, 인간의 건강 및 삶의 질 개선 등에 영향을 미치는 자유, 환경 존중, 사회적 효용 측면의 가치(Irzik & Nola, 2014a, p. 1014)”
	9. 사회적 조직과 상호작용 예를 들면, 고용인 또는 고용주로서 과학자의 지위, 즉 기관의 구조, 역할, 정책 등이 조직 내 과학자들 사이의 상호작용에 미치는 영향
시스템	10. 정치 권력 구조 예를 들면, 과학에 대한 정치적 영향력, 자연에 대한 설명 구축, 과학 지식 생성과 같은 이상적인 과학의 목표를 뛰어 넘어 과학이 정치적 목적을 포함하는 방식
	11. 재정 체계 예를 들면, 과학자들의 행동과 과학에서의 자원 분배를 지배하는 경제력, “과학은 경제적 순환 내 지식 체계(Salomon, 1985, p. 79)”라는 관점, “제품 생산 조절 기제와 유사한 정치, 경제 논리가 지배하는 과학자 공동체(Polanyi, 2002/1969, p. 465)”, 과학의 상품화 및 상업화

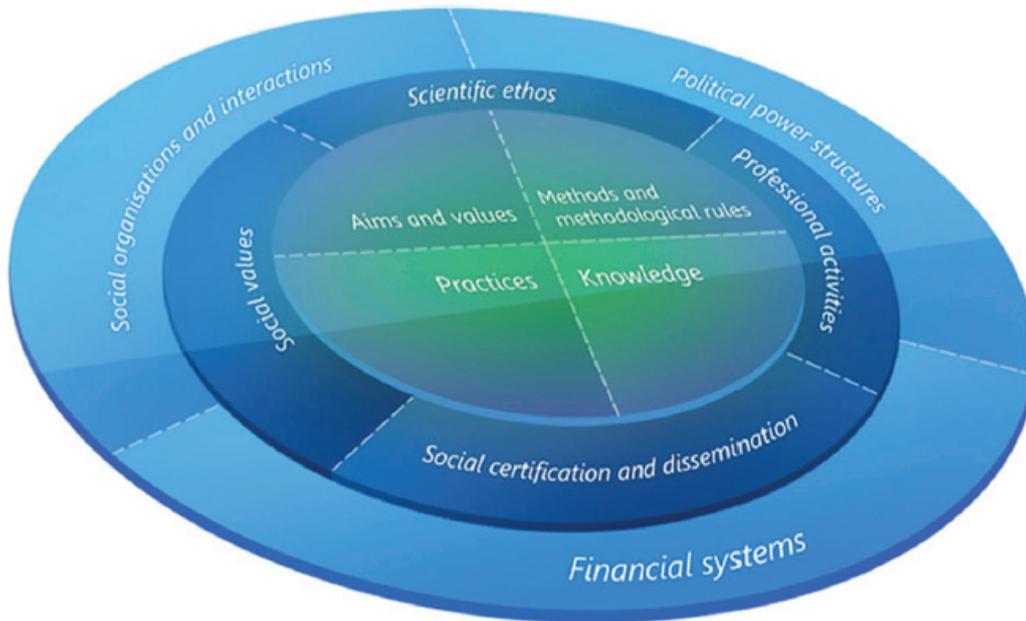


Figure 2. FRA wheel: science as a cognitive-epistemic and social-institutional system (Dagher & Erduran, 2016, 2017; Erduran & Dagher, 2014, p. 28)

도적 시스템 측면에 사회적 조직과 상호작용(social organizations and interactions), 정치 권력 구조(political power structures), 재정 시스템(financial systems)의 세 가지 범주를 추가하였다(Erduran & Dagher, 2014).¹³⁾

13) 범주화를 통해 NOS의 내용 요소들을 제시한 연구자들 중에는 Irzik & Nola(2014)의 FRA-to-NOS와 유사하게, 인식적 측면과 사회적 측면이라는 구분을 통해 NOS 교육에 포함할 수 있는 하위 요소들을 제시한 바 있다. 예를 들어, Martins(2015)은 ‘역사적, 사회학적 측면’과 ‘인식적 측면’의 두 가지를 주된 축으로 하여 NOS를 범주화 하였고, Acevedo-Diaz &

한편, Erduran & Dagher(2014a, 2014b)는 FRA-to-NOS를 재구성하여 과학교육적 NOS 프레임에 적용하면서, RFN 또는 ‘확장된 가족 유사성 접근 NOS(expanded family resemblance approach to NOS)’라는 용어를 사용하였다. 지금까지 RFN 프레임 성립 과정에 나타난 바에 의하면, 여러 연구자들이 NOS를 기술하기 위해 가족유사성 아

García-Carmona(2016)는 NOS의 내용 체계를 ‘과학의 인식론’, ‘과학과 기술의 관계’, ‘과학의 내부 사회학’, ‘과학의 외부 사회학’의 네 가지 범주로 구분하였다.

이디어를 접목한 결과들은 그 용어 뿐만 아니라, 학문적 입장에도 차이가 난다고 볼 수 있다. Wittgenstein(2009)은 철학적 가족유사성을, Irzik & Nola(2011a, 2011b, 2014)는 과학철학적 가족유사성을, Erduran & Dagher(2014a, 2014b)는 과학교육적 가족유사성을 언급하고 있으므로, 서로 다른 목표와 가치를 담고 있다는 것이다.

RFN에 포함된 인지-인식적 시스템 및 사회-제도적 시스템 측면의 열한 가지 범주와 각 범주에 포함된 내용 요소들의 예시를 Table 5와 같이 정리할 수 있다. 또한 전체적 RFN 프레임의 도식화한 결과는 Figure 2의 FRA wheel(Dagher & Erduran, 2016, 2017; Erduran & Dagher, 2014a)에서 볼 수 있다.

Dagher & Erduran(2016)은 RFN 프레임을 적용할 때, 다음과 같이 NOS 교육을 개선할 수 있다고 주장하였다(pp. 5-6).

- NOS에 집중하는 합의 NOS 관점과는 달리, RFN의 과학 지식과 실행 범주에는 과학적 실행의 본성이 포함되기 때문에, 이를 토대로 지식과 실행의 발전적 역동성을 교육할 수 있다. 이는 Duschl & Grandy(2013)가 제기한 바 있는 합의 NOS 관점을 적용할 때의 맹점, 즉, 합의 NOS 관점이 NOS만을 포함하기 때문에 발생하는 문제점과 지식과 실행의 변화성을 기술하는 넓은 의미의 NOS 개념에 부합하는 해법이라고 할 수 있다.
- RFN의 인지-인식적, 사회-제도적 시스템 내 범주를 통해 Matthews(2012)가 지적한 바 있는 합의 NOS 관점의 선언적 진실문이 갖는 문제점으로부터 벗어나, 더 넓은 과학에 대한 인식에 대해 사고하도록 이끌 수 있다.
- RFN의 사회-제도적 시스템 내 범주에 포함된 사회적 윤리, 사회적 확증 측면들은 Allchin(2011)이 강조한 바 있는 바람직한 과학의 목표와 가치는 물론, 더 넓은 사회적 맥락을 포함하도록 이끌 수 있다.
- Clough(2007)이 제안한 질문 형태의 비판적 NOS는 합의 NOS 리스트의 내용을 고수한 반면에, RFN은 질문 형태를 옹호하지만, 그 내용은 합의 NOS 리스트에 국한되지 않는다.
- 비판적 사고력을 강조하는 Yacoubian(2012)의 CT-NOS 접근법에 부합한다. 즉, RFN을 교육적으로 적용하는데 있어서 핵심 동력은 비판적 사고 과정을 포함하는 것이다.

합의 NOS 관점을 그 하위 내용 요소로 삼지 않는 대안적 NOS

관점들, 즉 Hodson(2009)의 인식론적 주제들, Matthews(2012)의 FOS, Allchin(2011)의 전체 과학, Eduran & Dagher(2014)의 RFN 프레임의 내용 범주를 비교한 Figure 3에서 볼 수 있듯이, 이 모든 관점들의 교집합은 과학의 지식과 실행 영역에 해당한다. 그 차이라고 하면, Allchin(2011)과 Hodson(2009)은 과학의 목표와 가치, 방법 및 사회문화적 측면을 강조하였고, Allchin(2011)은 역사적 접근 방식과 사회문화적 쟁점에 대해 다른 성격의 강조점을 두었다는 점이다(Dagher & Eduran, 2016). 또한, Matthews(2012)가 제안한 FOS의 내용 요소의 일부인 철학적 사실주의나 페미니즘 등을 제외한 나머지 전체론적 NOS 관점들의 모든 측면들을 포함한 RFN 프레임이 가장 넓은 범위를 차지하고 있다.

이와 같은 비교를 통해 몇 가지 항목으로 구성된 리스트 형식을 취하면서, 선언적 NOS를 다루는 합의 NOS 관점과, 과학의 산물 및 과정에 대한 이해는 물론, 사회와 과학의 상호작용 측면에 역점을 두어 과학을 기술하고자 하는 전체론적 접근들 사이에는 큰 차이점이 존재한다는 것을 알 수 있다. 다른 한편으로 유의해야 할 것은, 대표적인 대안적 NOS 관점들 사이의 차이는 다만 NOS 교육이 포함해야 하는 범주의 크기에 국한된 것이 아니라, 과학이라는 과업이 소유한 각 특성에 부여된 중요성에 대해 서로 다른 크기의, 새로운 가치 판단을 내리고 있다는 것이다.

한편, 이론적 문헌 연구에 집중하여 그 토대를 마련한 Irzik & Nola(2011a, 2011b, 2014)의 FRA-to-NOS와 비교할 때, 더 넓은 범주의 과학에 대한 설명을 포괄하는 Erduran & Dagher(2014a)의 RFN 프레임은 경험적 과학교육 연구들에 기반을 둔 다양한 교육연구 방법론과 현장 과학수업에 적용 가능한 여러 교수 도구들을 제공한다는 측면에서 차별성을 갖는다.

RFN 프레임을 개발한 Erduran & Dagher(2014a)을 비롯한 여러 연구자들은 새로운 NOS 관점을 적용한 다방면의 연구 결과를 제시해 왔다. 예를 들어, Erduran, Kaya, & Dagher(2018)는 기존 NOS 개념에 관한 최근의 논쟁들을 검토한 뒤에, RFN 프레임을 적용한 실증적 결과를 제공하고자, 과학적 실행을 묘사하는 ‘벤젠 고리 발견법(Benzene Ring Heuristics, 이하 BRH)’(Erduran & Dagher, 2014a)(Figure 4)이라는 이론적 체계를 예비 과학교사 교육 프로그램에 적용한 바 있다. BRH는 데이터, 모델, 설명, 예측, 논증 및 사회적 확증의

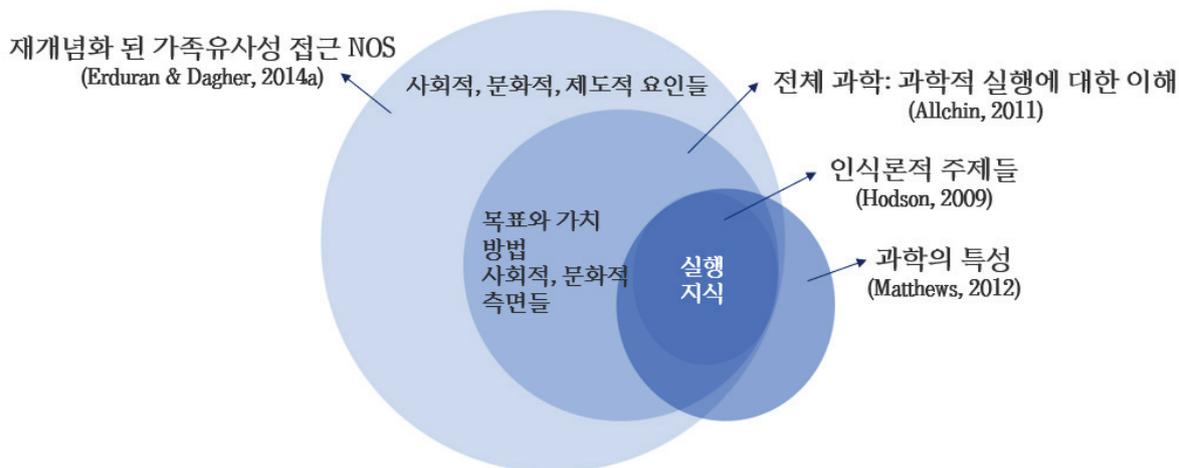


Figure 3. The scope of RFN, represented in the largest circles, relative to other alternative views of NOS represented by the smaller circles (Dagher & Erduran, 2017)

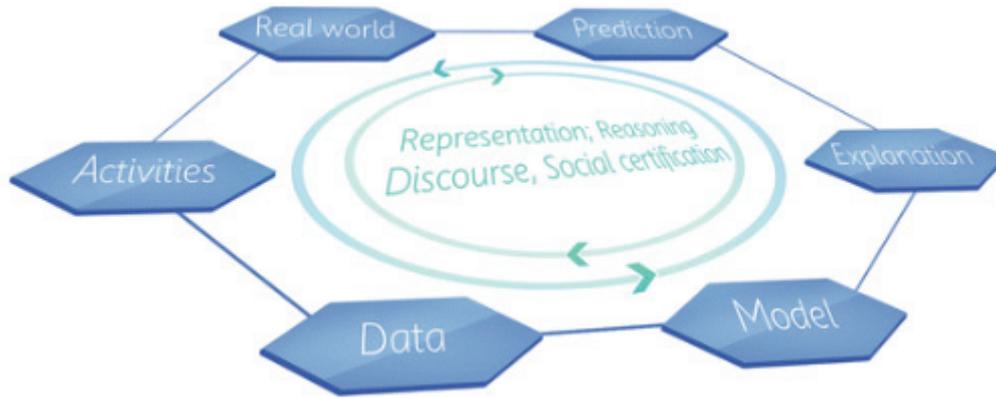


Figure 4. Benzene Ring Heuristics (Eduran & Dagher, 2014a, p. 82)

측면을 포함하여 과학적 실행의 인지적, 인식적, 사회적 구성 요소들의 역동성을 강조하여 설명하는 체계로서, BRH를 적용한 결과 터키의 예비 과학교사들이 과학적 실행을 전체론적으로 묘사하게 되었다고 보고하였다(Erduran, Kaya, & Dagher, 2018).

그 이외에도, Kaya *et al.*(2017)은 Kaya & Erduran(2016)이 개발한 RFN 기반 교사교육 프로그램을 터키 예비 과학교사를 대상으로 적용하여 그 효과성을 파악한 바 있다. 이를 위해 ‘NOS 설문지(NOS Survey)’를 개발하여 조사하였으며, 예비 과학교사들의 각 RFN 범주에 대한 이해가 발전했음을 보고하였다(Kaya *et al.*, 2017). 그에 더하여, Kaya & Erduran(2016)이 수행한 터키 과학 교과서를 RFN 프레임을 기준으로 분석한 연구, 우리 나라 고등학교 「과학탐구실험」과목에서 RFN 측면들이 어느 정도 반영될 수 있는지 분석한 Yang(2019, in progress)의 연구, RFN 방법론을 적용한 연구(Erduran & Dagher, 2014b), NOS 학습 경로(learning pathway) 개발에 있어서 RFN이 갖는 함의에 대한 연구(Kampourakis, 2016) 등이 존재한다.

RFN 프레임을 적용한 NOS 교육이 갖는 동력의 원천은 먼저, 가족 유사성에 토대를 둔 과학철학을 과학교육 연구 내의 증거와 통합하여, 전체적이고, 역동적인 체계로서의 현대적 과학을 묘사하고 있다는 점에서 찾을 수 있다(Erduran & Dagher, 2014a). 특히, Figure 3의 BRH, Figure 4의 FRA Wheel, Figure 5의 사회-제도적 시스템으로서의 과학을 보여주는 이미지 등, 과학의 특정 측면을 다룬 시각적 모델들은 RFN의 철학적 아이디어를 교육에 접목하는 과정에서 그 지침의 역할을 하여 NOS 교수·학습과 평가, 교육과정 수립 목적에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 즉, 학습자의 지적 발달 수준에 적합하도록 NOS 주제를 선택하고 적용하는 가운데, 특정 시점까지의 NOS 교수·학습에서 누락된 부분을 언제 어떻게 교수·학습 목표에 부합하게 우선적으로 적용할 수 있는가를 안내할 수 있다는 의미이다. 또한, RFN 프레임의 장점 중의 하나는 기존 합의 NOS 리스트의 맹점으로 지적되어 온, 학생들이 반성적, 비판적으로 NOS에 접근하도록 이끌기 보다 정제된 지식 또는 암기해야 할 지식의 뉘앙스를 갖게 한다는 부작용에 대해 치유책을 제공할 수 있다는 점이라고 판단된다.

한편, 과학에 대한 이해에 있어서, 인식적 이해에 비해 소홀히 다루어져 온 사회학적 측면의 비중이 커진 것은 비교적 근래에 ‘과학에 대한 지식’을 규명하는 연구들에 나타난 특징으로서(Ryder, 2001), 과학의 사회학적 측면들은 ‘과학의 내부 및 외부 사회학’으로 구분하여 설명

되 왔다. 전자는 동료의 검토, 세계적인 연결망을 갖는 연구 그룹들의 협업 등과 같은 과학자 사이의 상호작용을 고려하는 것이고, 후자는 과학 연구에 대한 정부의 재정 지원, 기업과 과학자 사이의 협업, 정치와 과학의 상호작용 등의 측면과 관련된다(Aikenhead & Ryan, 1992). RFN 프레임에 포함된 과학이 사회-제도적 시스템으로서 소유한 측면들을 Figure 5의 도식에서 볼 수 있다.¹⁴⁾

지금까지 기존 합의 NOS 관점에 대한 대안적 관점들, FOS, 전체 과학, 비판적 NOS, CT-NOS, RFN은 물론, 독일 등의 ‘NOS에 대한 교수’ 동향을 고찰한 결과로서 제시할 수 있는 것은, 우수 NOS 교육 전문가들이 제시한 NOS 교육의 큰 흐름은 정적인 과학이 아닌 동적인 과학, 정제된 과학이 아닌 과학을 둘러싼 여러 사회문화적, 정치·경제적 요인들과 상호작용하는 과학, 과학에 내재된 인간적 측면이 초래하는 모든 가정과 한계들을 포괄하여, 모든 철학적, 실증적 특성들이 전체적으로 투영된 과학을 향하고 있다는 사실이다.

IV. 결론 및 제언

과학교육 공동체는 과학적 소양을 갖춘 시민을 양성하기 위해서 학생들의 바람직한 NOS 이해를 필수적 목표로 교육해야 한다는 데 의견 일치를 보여 왔다(Bybee, 1997, Driver *et al.*, 1996, Matthew, 2012). 그것은 NOS를 충분히 이해하지 못 한다면, 과학의 과정을 진정으로 이해하여 SSI에 대해 과학적 정보에 입각한 결정을 내릴 수 없으며, 현대 문화에서 과학이 차지하는 중요성 역시 충분히 인식할 수 없다고 여겨지기 때문이다(McCain, 2016). 따라서 NOS를 강조한 양질의 과학교육은 시민 권리의 문제로서, 학교 과학에서도 학생들의 NOS 이해를 과학 지식 습득보다 오히려 더 중요하게 다루어야 한다고 주장되기도 하였다(Roberts & Bybee, 2014). 그러므로 현시점에서 NOS 교육 전통에서 주류를 형성해 온 합의 NOS 관점에 대한 비판적 견해들과 대안적 NOS 관점들의 내용적, 유형적 특성에 대해 고찰하는 것은, 지난 수십 년간 지속되어 온 NOS 교육에 대한 반성을 통해 현대적 과학교육 목표에 부합하는 NOS 내용 지식을 무엇으로

14) 시각적 RFN 모델들은 ‘생성적 과학 이미지(Generative Images of Science, GIS)’라고 불리는데, 그 명칭에서 알 수 있듯이, 과학교육에 적용하고자 할 때 발휘될 수 있는 잠재적인 효용을 염두에 두고 있다. 시각적 도구의 개발 목적은 ‘어떻게 다양한 RFN 프레임 내 각 범주들을 교육과정 기준들과 연계하여, 학생들의 NOS 이해를 배양할 수 있는가?’라는 질문에서 출발한 것이라고 설명되었다(Dagher & Eduran, 2016).

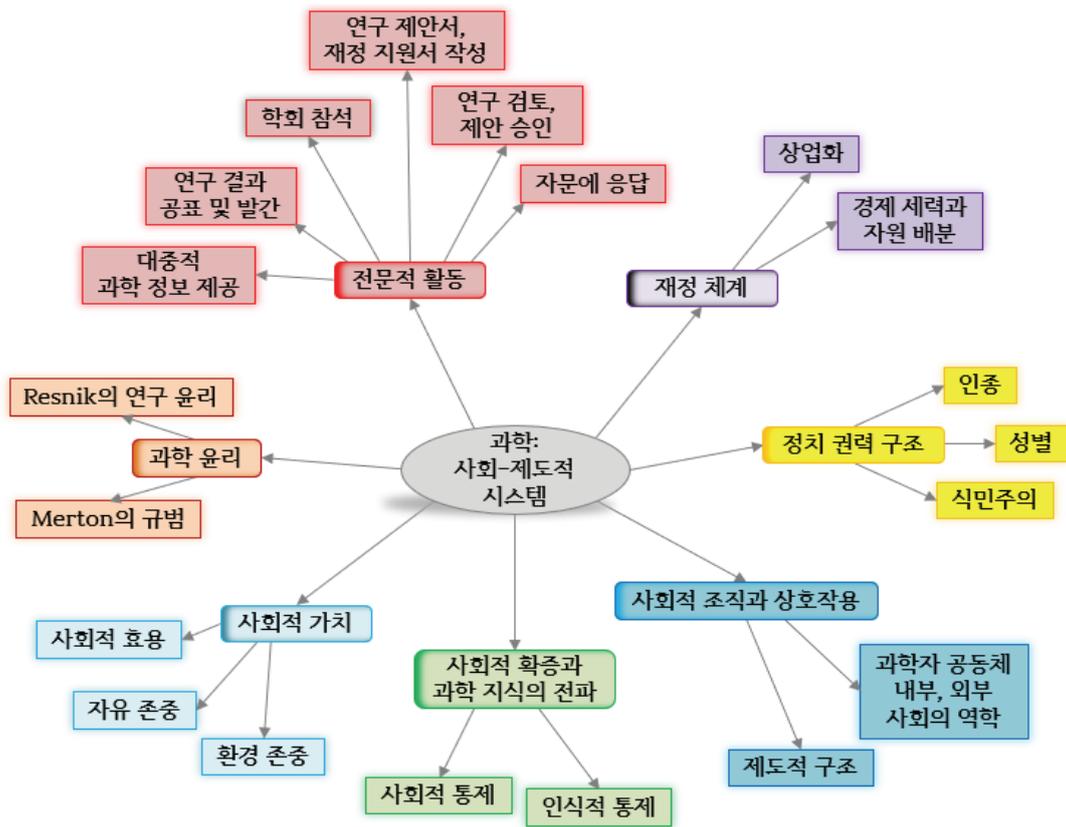


Figure 5. Science as a social-institutional system and its categories (Erduran & Dagher, 2014)

할 것인지, 어떻게 NOS 교수·학습을 이끌어 가야 하는지, 그 방향을 모색하는데 필수적이라고 할 수 있다.

지금까지 과학 지식의 사회 구성적 본성을 논하는 것에는 논란의 여지가 존재하지만, 과학에 대한 인식론으로서 또한 과학 교수·학습 관의 하나로 수용된, ‘과학 지식의 구성’이라는 언명의 여러 의미 중의 하나는, 역사적으로 볼 때 우리가 지금까지 진실로 간주해 온 과학 지식이 우연히 발견된 것이 아니라, 과학자들의 관찰과 실험, 경쟁적 가설, 이론에 대한 평가를 수행하고, 결국에는 과학자 공동체의 사회적 합의를 거쳐 구성된다는 것이다. 따라서 그러한 의미의 과학 지식의 사회 구성적 본성에 대한 설명이 논쟁적이지 않고, 수용할 만한 것이라면, 과학자의 실행에 필연적으로 존재하는 과학 외부의 사회학적 요소들을 NOS 교육의 내용에 포함하여 다루어야 한다는 데 이의가 존재하지 않을 것이다. 오히려 이미 완성된 지식의 검증 문제나 논리적 구조의 분석에만 치중했던 전통적, 보편적 합의를 NOS 관점을 보완하여, 과학의 과정과 그 산물의 역동적이고, 다면적인 속성을 심분 반영한 실제적 과학에 대한 설명을 구축하는 기능을 할 수 있다는 점에서 환영할 만한 일일 것이다.

뿐만 아니라, NOS는 과학교사로 하여금 정확한 과학을 학생들에게 묘사하도록 안내할 수 있는 기초적인 영역으로서, 미래의 과학자는 물론 모든 학생들이 정직한 과학을 마주하도록 하는 것은 과학 수업 현장의 NOS 교육이 감당해야 하는 당연한 책무이다. 이는 현대적 과학 소양인 양성의 의미로부터 NOS 교육에서 무엇을 어떻게 다루어야 하는가에 대한 구체적인 방안을 마련할 때 반드시 고려해야 할 부분이다.

일반적으로 더욱 정갈하고 표면적으로 볼 때 더욱 합리성을 추구하

는 과학에 대한 모델을 다룬 Merton(1973)의 과학사회학과 비교할 때, 과학에 대한 후기 모더니즘 담론의 주류로서 1970년대 이후 전개된 과학지식사회학(sociology of scientific knowledge)은 과학 지식의 내용이 어떻게 사회적 요인에 의해 영향을 받는지, 또는 의도적으로 구성되는지 밝히기 위해 노력해 왔다. 그러한 과학지식사회학의 문제 제기는 현대적 과학철학으로 하여금, 사회적 맥락과 무관한 초역사적이고 보편타당한 과학이 아니라, 과학이 인간이 이룩한 문화적 산물의 하나이며, 맥락의존성, 역사성 및 잠정성을 갖는 지식 체계로 바라보도록 이끌고 있다. 한편, 현대 과학의 현실에 대해 좀 더 극단적인 관점을 고수한 Carter(2008)는 오랜 동안 과학자 공동체의 규범으로 존중되어 온 Merton(1973)이 확인한 과학자 사회에 존재하는 기능적 규범 네 가지 중에서 최소한 세 가지, 즉 공유주의, 이해중립성, 회의주의는 ‘기업가 정신(entrepreneurial spirit)’과 ‘경제 성장(economic growth)’으로 대체되었다고 진단하였고, 과학의 지적 창의력을 일용품(commodity) 개념과 동일시하였다. 또한, Carter(2008)는 과학의 많은 과정과 결과에 대한 비밀 보장이나 지식에 대한 권리를 보호하는 차원에서 비공개 수행을 묵인함으로써, 그러한 과학의 산물들이 과학자 공동체 내의 비판적인 검증으로부터 제외시키는 맹점 역시 낳고 있다고 주장하였으며, Mirowski & Sent(2008)는 그러한 특권으로 인정되는 범위의 체계적 확대는 현대적 과학 지식에 대한 대중의 접근 가능성을 위협하고 있다고 비평하였다. 과학 교육자들이 NOS에 대해 내린 정의와 학교에서 제공하는 교수·학습 활동은 이러한 현대 과학이 직면한 현실을 고려해야 한다. 이는 지금까지 터부시 해 온 과학적 실행의 민낯을 감추는 것이 능사가 아님을 자각하도록 이끄는 여러 사회과학적 문제들에 직면해 있는 현실을 고려할 때 더욱 그러하다.

그러므로 지금까지 과학교육 연구에서, 또한 NOS 교육과정을 마련할 때 지속되어 온 NOS 내용 지식에 대한 정형화를 탈피해야 한다. 나아가, 현대적 NOS 교육은 과학교사는 물론, 학생들이 과학 지식의 생성과 정당화에 관여하는 과학의 외부 사회학, 지식 및 실행의 다양성을 이해하는 것을 포함하여, NOS에 대한 쟁점의 중요성과 복잡성을 고려하도록 정향해야 한다. 이는 과학의 보편성, 영역특이성, 사회성에 각기 다른 정도의 강조점을 둔 여러 NOS 관점들이 궁극적으로 서로 다른 것을 말하고 있는 것이 아니며, 그러한 다원적 NOS 관점들은 각각 독립적 실체가 아니라, 내재적 상관관계를 갖는 과학에 대한 설명이기 때문이다. 여러 경쟁하는 이론들과 과학적 실행의 다양성을 존중하듯이, NOS 개념 역시 서로 보완할 수 있는 다양한 관점들을 존중함으로써, 과학교육 내 NOS 내용 지식에 대한 제한된 시각에서 벗어날 수 있을 것이다.

장차 현대적 과학 소양 교육에서 시민권에 기여할 수 있는 가치있는 지식이 무엇인지, 누구의 것인지, 어떻게 학습하도록 이끌어야 하는지에 대한 심대한 논의들이 우리나라 NOS 교육을 위한 지식 구성 과정에서 핵심적인 위치를 차지하고, 그러한 연구 결과들을 집목한 NOS 교수·학습이 실제 수업 현장에서 구현될 것을 기대한다.

국문요약

최근 우수 과학교육연구자들은 세계 여러 나라의 과학교육 현장은 물론, 과학교육 연구 전통에서 과학의 본성 교육의 중심축을 형성해 온 ‘합의 과학의 본성 관점’에 대한 비판과 옹호 및 대안적 견해들을 감론을박 형세로 제기하고 있다. 합의 과학의 본성 관점은 다각적인 경로를 통해 NOS 교육 표준화를 위해 구축한 ‘보편적 과학 지식의 본성’에 해당한다. 그 교의에는 과학 지식의 잠정성, 주관성, 이론 의존성, 법칙과 이론, 관찰과 추론, 상상력과 창의성, 사회문화적 착근성 주제 등이 포함되며, 몇 가지 선언적 문장으로 구성된 리스트 형식을 취하고 있다.

본 연구자는 지금까지의 서구 과학교육 연구 내 NOS 개념화 전통은 물론, 현 시점에서 논의되는 NOS 교육의 동향을 파악하는 것이 현대적이며 미래 지향적 과학적 소양인 교육을 위해 필수적이라고 판단하였다. 이에 먼저 문헌 연구를 통해, 특히 과학에 대한 전체론적 인식론을 주창해 온 저명 과학교육 연구자들이 제시한 합의 NOS 관점에 대한 논쟁과 비판의 요지를 파악하여 제시하였다. 이어 과학의 본성이 갖는 본유적 가치는 다양한 학문적 렌즈를 통해 과학이 기능하는 실제 방식을 표현하는데 있으므로, 그러한 기능을 충분히 수행하도록 이끌 수 있는 과학의 본성 개념에 다가가기 위해, 여러 대안적 과학의 본성의 내용 요소에 대한 제안 및 과학의 본성 교육에 대한 의견들을 살펴 보았다. 즉 ‘과학의 본성 개념이 갖는 논쟁적 요소에 대한 교수’, ‘비판적 과학의 본성’, ‘비판적 사고력 과학의 본성’, ‘전체 과학’, ‘과학의 특성’, ‘재개념화 된 가족유사성 접근 과학의 본성’ 등을 고찰하여, 현대적 과학철학과 과학지식사회화에 기반을 두어 과학의 본성 내용 지식의 보편성과 다원성을 중심으로 그 함의를 제시하였다.

주제어 : 합의 과학의 본성 관점, 대안적 과학의 본성 관점들, 다원성

References

- Abd-El-Khalick, F. (2001). Embedding Nature of Science Instruction in Preservice Elementary Science Courses: Abandoning Scientism, But... *Journal of Science Teacher Education*, 12(3), 215-233.
- Abd-El-Khalick, F. (2012a). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22(9), 2087-2107.
- Abd-El-Khalick, F. (2012b). Examining the sources for our understandings about science: enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374.
- Abd-El-Khalick, F. (2012c). Nature of science in science education: toward a coherent framework for synergistic research and development. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Springer international handbooks of education: vol. 24. Second international handbook of science education* (pp. 1041-1060). Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000a). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000b). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095.
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & Le, A. P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855.
- Acevedo-Díaz, J. A., & García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». *Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19.
- Ackerson, V., & Donnelly, L. A. (2008). Relationships among learner characteristics and preservice teachers' views of the nature of science. *Journal of Elementary Science Education*, 20(1), 45-58.
- Aikenhead, G. S., & Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: 'Views on Science-Technology-Society'(VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477-491.
- Allchin, D. (1997). Rekindling phlogiston: From classroom case study to interdisciplinary relationships. *Science & Education*, 6(5), 473-509.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Allchin, D. (2013). *Teaching the nature of science. Perspectives and resources*. St. Paul, MN: SHiPS Education Press.
- Allchin, D. (2017). Beyond the consensus view: Whole science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 18-26.
- Alters, B. J. (1997). Whose nature of science?. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1993). *Benchmarks for scientific literacy*. Oxford: Oxford University Press.
- Bazzul, J. (2017). From Orthodoxy to Plurality in the Nature of Science (NOS) and Science Education: A Metacommentary. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 66-71.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann Publishing.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms. *Science Teacher*, 78(9), 34-40.
- Carter, L. (2008). Globalization and science education: The implications of science in the new economy. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 617-633.
- Chang, Y., Chang, C., & Tseng, Y. (2010). Trends of science education research: an automatic content analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 315-332.
- Cheong, Y. W. (2014). Law, Theory, and Principle: Confusion in the Normative Meaning and Actual Usage. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(5), 459-468.
- Clough, M. P. (2007). Teaching the Nature of Science to Secondary and Post-Secondary Students: Questions Rather Than Tenets, *The Pantaneto Forum*, Issue 25, January. Republished (2008) in the *California Journal of Science Education*, 8(2), 31-40.
- Clough, M. P. (2011). Teaching and assessing the nature of science. *The Science Teacher*, 78(6), 56-60.

- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2014). Laws and explanations in biology and chemistry: Philosophical perspectives and educational implications. In *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1203-1233). Springer, Dordrecht.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the nature of science: Why does it matter? *Science & Education*, 25(1 & 2), 147-164.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2017). Abandoning patchwork approaches to nature of science in science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 17(1), 46-52.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Deng, F., Chen, D. T., Tsai, C. C., & Chai, C. S. (2011). Students' views of the nature of science: A critical review of research. *Science Education*, 95(6), 961-999.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham: Open University Press.
- Duschl, R. A. (1994). Research on the history and philosophy of science. In D. L. Gabriel (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning* (Volume II), (pp. 443-465). New York, NY: MacMillan.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2011). Demarcation in science education: Toward an enhanced view of scientific method. In S. R. Taylor & M. Ferrari (Eds.), *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*, (pp. 3-19). New York: Routledge.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22, 2109-2139.
- Eflin, J. T., Glennan, S., & Reisch, G. (1999). The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science, *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1):107-117.
- Elby, A., & Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education*, 85(5), 554-567.
- Ennis, R. H. (1969). *Logic in teaching*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Erduran, S. (2014). Beyond Nature of Science: The Case for Reconceptualising "Science" for Science Education. *Science Education International*, 25(1), 93-111.
- Erduran, S. (2016). Visualising the nature of science: beyond textual pieces to holistic images in science education. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, J. Lavonen, & A. Uitto (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education research: selected papers from the ESERA 2015 conference*. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., & Dagher, Z. (2014a). Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., & Dagher, Z. (2014b). Regaining focus in Irish junior cycle science: Potential new directions for curriculum development on nature of science. *Irish Educational Studies*, 33(4), 335-350.
- Erduran, S., & Jimenez-Aleixandre, M. P. (2007). Argumentation in science education: Recent developments and future directions. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., Kaya, E., & Dagher, Z. R. (2018). From Lists in Pieces to Coherent Wholes: Nature of Science, Scientific Practices, and Science Teacher Education. In *Science Education Research and Practice in Asia-Pacific and Beyond* (pp. 3-24). Singapore: Springer.
- Feyerabend, P. (1962). *Knowledge without foundations*. Oberlin: Oberlin College.
- Finson, K. D. (2002). Drawing a scientist: What we do and do not know after fifty years of drawings. *School Science and Mathematics*, 102(7), 335-345.
- Giere, R. N. (1985). Constructive realism. *Images of Science*, 75-98.
- Good, R., & Shymansky, J. (2001). Nature-of-science literacy in Benchmarks and Standards: Postmodern/relativist or modern/realist? *Science & Education*, 10, 173-185.
- Grandy, R. E., & Duschl, R. A. (2008). Consensus: Expanding the scientific method and school science. *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*, 304-325.
- Harding, P., & Hare, W. (2000). Portraying science accurately in classrooms: Emphasizing open-mindedness rather than relativism. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(3), 225-236.
- Hodson, D. (1991). Philosophy of science and science education. In M. Matthews (Ed.) *History, philosophy and science teaching*. Toronto: OISE Press/Columbia University Press.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science: Towards a personalized approach*. UK: McGraw-Hill Education.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. Taipei: Sense Publishers.
- Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Taipei: Sense Publishers.
- Hodson, D. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, (pp. 911-970). Dordrecht: Springer.
- Hodson, D., & Wong, S. L. (2017). Going beyond the consensus view: Broadening and enriching the scope of NOS-oriented curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 3-17.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- Irez, S. (2009). Nature of science as depicted in Turkish biology textbooks. *Science Education*, 93(3), 422-447.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011a). A family resemblance approach to the nature of science education. *Science & Education*, 20, 591-607.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011b). A family resemblance approach. Plenary presentation session with N. Lederman titled: Current philosophical and educational issues in nature of science (NOS) research, and possible future directions. Presented at the International History, Philosophy, and Science Teaching (IHPST) Conference, Thessaloniki, Greece.
- Irzik, G. & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. (pp. 999-1021). Dordrecht: Springer.
- Kampa, N., & Köller, O. (2016). German national proficiency scales in biology: Internal structure, relations to general cognitive abilities and verbal skills. *Science Education*, 100(5), 903-922.
- Kampourakis, K. (2016). The "general aspects" conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667-682.
- Karisan, D., & Zeidler, D. L. (2017). Contextualization of nature of science within the socioscientific issues framework: A review of research. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 139-152.
- Kaya, E., & Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or how the Family Resemblance Approach can be transformed for science curriculum analysis on nature of science. *Science & Education*, 25(9-10), 1115-1133.
- Kaya, E., Erduran, S., Akgün, S., & Aksöz, B. (2017). Nature of Science in Teacher Education: A Holistic Approach. *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science & Mathematics Education*, 11(2).
- Khishfè, R. (2012). Nature of science and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(1), 67-100.
- Kim, M. (2016). Educational Effects of the Integrated Science Developed Under the 2009 Revised National Curriculum: Focused on Student's Views on Nature of Science and Science-Technology-Society Relationship, Interest in Science, and Science Aspiration (Master's thesis). Seoul National University. Seoul. Korea.
- Kim, H. (1997). Sociological understanding of science and technology. *Science, Philosophy & Culture*, 20, 223-238.
- Kötter, M., & Hammann, M. (2017). Controversy as a Blind Spot in Teaching Nature of Science. *Science & Education*, 26(5), 451-482.
- Kwak Y. (2001). Theoretical background of constructivist epistemology. *Journal of Korean Earth Science Society*, 22(5), 427-447.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. *Criticism and the growth of knowledge*, 4, 91-196.
- Laudan, L., Donovan, A., Laudan, R., Barker, P., Brown, H., Leplin, J., ... & Wykstra, S. (1986). Scientific change: Philosophical models and historical research. *Synthese*, 69(2), 141-223.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 301-317). Springer: Dordrecht.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*, (pp. 831-879). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. (2014). Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. *Science &*

- Education, 23(2), 285-302.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education (Volume II)*, (pp. 1739-1815). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83.
- Lee, J-W, Park, Y-S, & Jeong, D-H. (2016). Exploring the level of nature of science and its degree of revising curriculums: The case of the 7th and 2009 revised curriculums. *Journal of Korean Society of Earth Science Education*, 9(2), 217-232.
- Lee, S. J. (2008) A Study of Future-oriented Practical Arts(Technology and Home Economics) Curriculum. *Korean Association of Practical Arts Education*, 21(3), 21-39.
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703-737.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Routledge: Psychology Press.
- Matthews, M. R. (1997). Editorial. *Science & Education*, 6(4), 323-329.
- Matthews, M. R. (2001). How pendulum studies can promote knowledge of the nature of science. *Journal of Science Education and Technology*, 10(4), 359-368.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: from nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- Matthews, M. R. (Ed.). (2014). *Handbook of research on history, philosophy and sociology of science*. Dordrecht: Springer.
- McCain, K. (2016). *The nature of scientific knowledge: An explanatory approach*. Switzerland: Springer.
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10-16.
- McComas, W. F. (2005). Teaching the nature of science: What illustrations and examples exist in popular books on the subject. In Eighth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST) Conference, Leeds, UK (July 15-18).
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2-3), 249-263.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The nature of science in international education standards documents. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 53-70). Dordrecht: Kluwer.
- Meichtry, Y. J. (1993). The impact of science curricula on student views about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 429-443.
- Merton, R. K. (1973). *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations*. Chicago: University of Chicago press.
- Millar, R. (2006). Twenty first century science: Insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- Ministry of Education (MOE). (2015). 2015 revised national curriculum of science. Seoul: Ministry of Education, Science and Technology.
- Mirowski, P., & Sent, E. M. (2008). The commercialization of science and the response of STS. In E. J. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch (Eds.), *Handbook of Science and Technology Studies*, (pp. 635-689). Cambridge, MA: MIT Press.
- Moss, P. A., Phillips, D. C., Erickson, F. D., Floden, R. E., Lather, P. A., & Schneider, B. L. (2009). Learning from our differences: A dialogue across perspectives on quality in education research. *Educational Researcher*, 38 (7), 501-517.
- Musgrave, A. (1998). Realism versus constructive empiricism. In M. Curd & J. A. Cover (Eds.), *Philosophy of science: The central issues* (pp. 1088-1113). New York: Norton.
- National Research Council (NRC). (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2012). *A framework for K-12 science education*, DC: National Academy Press.
- National Science Teachers Association (NSTA). (1982). *Science-Technology-Society: Science Education for the 1980s (An NSTA position statement)*. Washington, DC: Author.
- Neumann, K., Fischer, H. E., & Kauertz, A. (2010). From PISA to educational standards: The impact of large-scale assessments on science education in Germany. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 545-563.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Noh, T., Kim, Y., Han, S., & Kang, S. (2002). Elementary school students' views on the nature of science. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 22(4), 882-891.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2009). *Scientific literacy*. The Cambridge handbook of literacy, 271-285.
- NW. (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium, Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. MSW: Philosophie.
- Oliveira, A. W., Akerson, V. L., Colak, H., Pongsanon, K., & Genel, A. (2012). The implicit communication of nature of science and epistemology during inquiry discussion. *Science Education*, 96(4), 652-684.
- Osborne, J. F. (2007). *Science Education for the Twenty First Century*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(3).
- Osborne, J. F. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- Osborne, J. F. (2017). Going beyond the consensus view: A response. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 53-57.
- Osborne, J. F., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Polanyi, M. (2002/1969). *The republic of science: Its political and economic theory*. From knowing and being. Reproduced in P. Mirowsky & E. M. Sent (Eds.), *Science bought and sold: Essays in the economics of science* (pp. 465-485). Chicago: University of Chicago Press.
- Pomeroy, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- Resnik, D. B. (2007). *The price of truth: How money affects the norms of science*. Oxford: Oxford University Press.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education (Volume I)*, (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Science and scientific literacy. In N. G. Lederman (Ed.), *Handbook of research on science education (2nd ed.)*. New York: Routledge.
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2013). Whither the VNOS?. *Aprendendo ciência*, 225.
- Rudolph, J. L. (2000). Reconsidering the ‘nature of science’ as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- Ryder, J. (2001). Identifying science understanding for functional scientific literacy. *Studies in Science Education*, 36, 1-42.
- Ryder, J. (2009). Enhancing engagement with science/technology-related issues. In A. T. Jones & M. J. deVries (Eds.), *International handbook of research and development in technology education*, (pp. 287-296). Rotterdam/Taipei: Sense Publishers.
- Ryder, J., Leach, J., & Driver, R. (1999). Undergraduate Science Students' Images of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 201-220.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Salomon, J. (1985). Science as a commodity-policy changes, issues and threats. In M. Gibbons & B. Wittrock (Eds.), *Science as a commodity*, (pp. 78-98). Harlow, UK: Longman.
- Settlage, J., Madsen, A., & Rustad, K. (2005). *Inquiry Science, Sheltered Instruction, and English Language Learners: Conflicting Pedagogies in Highly Diverse Classrooms*. *Issues in Teacher Education*, 14(1), 39-57.
- SL (2008). *Lehrplan. MfB: Philosophie*.
- Smith, M. U., & Scharmann, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83(4), 493-509.
- Stanley, W. B., & Brickhouse, N. W. (2001). Teaching sciences: The multicultural question revisited. *Science Education*, 85(1), 35-49.
- Swinbank, E. & Taylor, J. (2007). *Perspectives on Science. The History, Philosophy and Ethics of Science*. Teachers' Resource File, Oxford: Heinemann.
- van Dijk, T. A. (2011). *Discourse Studies: A Multidisciplinary Introduction (Vol. I)*. Singapore: Sage Publishing.
- van Fraassen, B. C. (1998). Arguments concerning scientific realism. In M. Curd & J. A. Cover (Eds.), *Philosophy of science: The central issues*,

- (pp. 1064-1087). New York: Norton.
- Wheeler-Toppen, J. L. (2005). Teaching NOS Tenets: Is it time for a change? Paper presented at the Association of Science Teacher Educators (ASTE) 2005 Conference, Colorado Springs, CO. January 19-23.
- Wittgenstein, L. (2009). *Philosophical investigations*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2010). More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463.
- Yacoubian, H. A. (2012). Towards a philosophically and a pedagogically reasonable nature of science curriculum. Alberta: University of Alberta.
- Yacoubian, H. A. (2015). A framework for guiding future citizens to think critically about nature of science and socioscientific issues. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 15(3), 248-260.
- Yang, C., Kim, M., & Noh, T. (2015). The Influences of Integrated Science developed Under the 2009 Revised National Curriculum on Students' Views on Nature of Science and Science-Technology-Society Relationship, Interest in Science, and Science Aspiration. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(4), 549-555.
- Yang, S. (2019, in progress). Representations of Nature of Science in New Korean Science Textbooks: The Case of 'Science Laboratory Experiment' (Master's thesis). Seoul National University. Seoul, Korea.
- Zammito, J. H. (2004). *A nice derangement of epistemes: Post-positivism in the study of science from Quine to Latour*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ziman, J. (2000). Are debatable scientific questions debatable?. *Social Epistemology*, 14(2-3), 187-199.

저자 정보

조은진(서울대학교 학생)
김찬중(서울대학교 교수)
최승언(서울대학교 교수)