



우리나라 생명과학 관련 분야 재미 과학자들은 어떻게 과학의 본성을 이해하고 있는가?

이영희*
단국대학교

What Do Scientists Think about the Nature of Science?

- Exploring Views of the Nature of Science of Korean Scientists Related with Life Science Area

Young Hee Lee*
Dankook University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 September 2014

Received in revised form

27 October 2014

30 October 2014

Accepted 31 October 2014

Keywords:

nature of science,
scientists' views of the nature of
science,
the conception of scientists,
scientists in science education

ABSTRACT

Understanding of the nature of science (NOS) has been a consistent topic as one of the most important goals in science education for the past several decades. Even though there is a variety of research related with the NOS conducted in science education, few researches has been conducted for the conception of scientists regards to the nature of science (Bayir *et al.*, 2014; Taylor *et al.*, 2008; Wong & Hudson, 2008). Recently, researchers in science education turned their attention to identifying views of scientists about the nature of science since they recognized the importance of participation of scientists in science education (Southerland *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2008). This study was conducted to examine the Korean scientists' views of the nature of science. Through the use of semi-structured questionnaire and in-depth interview the views of 35 scientists who belong to the Korean-American Scientists and Engineers Association (KSEA) regards to the nature of science were explored. Findings show that while the scientists have more informed views with respect to the tentativeness of scientific knowledge, cultural and social influence embedded in science, the limitation of science, and the collaboration of science with others, the scientists have more naive views about the distinction between laws and theories, the existence of a universal scientific method, and the importance of imagination and creativity. As such, it can be assumed that the scientists cannot conceptualize their notion in a philosophical sense even though they are engaged in scientific work in reality (Bayir *et al.*, 2014).

1. 서론

과학의 본성(Nature of Science)에 대한 연구와 이해는 지난 수십 년 동안 과학 교육학계의 가장 중요한 연구 주제중의 하나가 되어 왔다. 미국을 비롯한 많은 외국에서도 자국의 과학교육의 핵심적인 목표로 과학의 본성에 대한 이해를 손꼽았으며 그에 따라 중요한 국가적 차원의 지침서 등에서 과학의 본성을 강조하여 왔다(AAAS, 1990, 1993; Ackerson, Buzzelli, & Donnelly, 2010; McDonald, 2010; NRC, 1996, 2012; NSTA, 1982). 우리나라에서도 시대의 변화에 따라 요구 되는 인간상의 변화와 국제 정보화 시대에 발맞춘 과학적 소양인 양성이라는 교육목표에 따라 과학적 소양의 핵심 요소인 과학의 본성의 중요성이 널리 인식되고 있다(Ministry of Education, Science and Technology [MEST], 2012). 이와 같이 과학의 본성에 대한 과학교육 연구자들의 관심과 요구에 따라 다양한 주제와 방식으로 과학의 본성에 대한 연구가 이루어지고 있다. 특히 과학의 본성이 과학의 인식론적인 측면이라는 추상적이고 다소 복잡한 주제이기 때문에 그동안 많은 과학교육 연구자들은 교사들과 학생들에게 효과적인 과학의 본성을 지도하기 위하여 어느 수준의, 어떤 내용들을 교수학습 해야 할지를 연구해 왔으며 마침내 현재는 일정한 수준으로 합의된 구체적인 과학

의 본성 내용들을 정립하였다(AAAS, 1990, 1993; Ackerson, Morrison, & McDuffie, 2006; Bartholomew, Osborne, & Ratcliffe, 2004; Lederman *et al.*, 2002; McComas, 2005; NRC, 1996; NSTA, 2000). 다음 Table 1은 미국 과학교사 협회(National Science Teacher Association: NSTA) 및 다른 선행 연구들에서 제시한 과학의 본성 내용들을 보여주고 있는데 여기에 제시된 과학의 본성 내용들은 일반적으로 많은 과학교육자들이 동의하고 있는 내용들이라고 할 수 있다. 과학의 본성에 대한 정의와 내용은 과학교육자들 사이에서도 쉽게 의견의 일치를 보기 어려운 영역인 것은 사실이나 과학의 본성이 과학의 인식론적인 측면, 아는 방법으로서의 과학에 대한 개념, 그리고 과학적 지식 이면에 숨겨진 가치와 신념이라는 것에는 많은 연구자들이 동의하고 있다(Abd-El-Khalick, 2005; Lederman, 1992). 또한 과학의 본성이 과학적 지식 영역뿐 아니라 탐구 과정, 과학 지식의 본질, 과학자들의 신념이나 태도, 그리고 과학과 사회/문화의 상호작용을 포함하고 있다는 것을 알 수 있다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014).

그 동안 국내외에서 진행된 과학의 본성 관련 주요 연구로는 과학의 구체적 본성 내용을 제시하는 연구들(Ackerson, Morrison, & McDuffie, 2006; Lederman *et al.*, 2002; McComas, 2005; Bartholomew, Osborne, & Ratcliffe, 2004; Osborne *et al.*, 2003; Lee, 2013a), 교사와 학생들의

* 교신저자 : 이영희 (yhlee2014@dankook.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.7.0677>

Table 1. NOS statements in publications of science educators

Authors of Publications	NOS Statements
National Science Teacher Association (2000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Scientific knowledge is tentative. 2. There is no single step-by-step scientific method. 3. Creativity is a vital component for producing scientific knowledge. 4. Science precludes supernatural elements for producing scientific knowledge. 5. Laws are generations describing phenomena while theories are explanations of it. 6. Science is conducted corporately. 7. Science is affected by existing scientific knowledge and social/cultural context. 8. Science has changed both evolutionally and revolutionally. 9. Basic scientific research is not directly concerned with practical outcomes.
Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, Schwartz, & Akerson (2002)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Science knowledge is tentative. 2. Science knowledge has basis in empirical evidence. 3. Scientific laws and theories are separate kinds of scientific knowledge. 4. Scientific knowledge is based upon both observation and inference. 5. Scientific knowledge is created from human imagination and logical reasoning. 6. Scientific knowledge can be obtained by a variety of scientific methods. 7. Scientific knowledge is inherently subjective and based on interpretation. 8. Science is a human endeavor influenced by society and culture.
McComas (2005)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Science demands and relies on empirical evidence. 2. Knowledge production in science shares many common factors and shared habits of minds, norms, logical thinking and methods 3. Scientific knowledge is tentative but durable 4. Laws and theories are related but distinct kinds of scientific knowledge. 5. Science has a creative component. 6. Science has a subjective element. 7. There are historical, cultural, and social influences on science. 8. Science and technology impact each other, but they are not the same. 9. Science and its methods cannot answer all questions.
Bartholomew, Osborne, and Ratcliffe (2004)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Experiments are used to test ideas. 2. Scientific knowledge is subject to change. 3. Science uses a range of methods and there is no one scientific method. 4. Developing hypotheses and predictions is essential to the development of new knowledge. 5. Scientific knowledge is developed with its history. 6. Science involves creativity and imagination. 7. New scientific knowledge emerges from a continual and cyclic process of asking questions and seeking answers. 8. Scientific knowledge emerges from simply from the data but a process of interpretation and theory building, and often scientists come from different interpretations. 9. Scientific work is a communal and competitive activity.
Ackerson, Morrison, & McDuffie (2006)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Scientific knowledge is tentative, that is, is subject to change. 2. There are multiple methods of inquiry, and those methods require empirical evidence. 3. Creativity is important in developing knowledge. 4. Scientific knowledge is subjective. 5. Scientific knowledge is developed within a social and cultural context. 6. Theory is evidence-based explanation of phenomena while law is an evidence-based description of it. 7. Inferences are explanations for observation.

과학의 본성에 대한 인식이나 개념 변화에 대한 연구(Abell, Martini, & George, 2001; Cobern & Loving, 2002), 그리고 교과서와 같은 교육 과정에서 나타나는 과학의 본성 측면에 대한 연구(Chiappetta & Fillman, 2005; Chiappetta Sethna, & Fillman, 1991; Chiappetta,

Fillman, & Sethna, 1991; Lee, 2007; Lee, 2013b; Lee, Son, & Kim, 2014) 등이 활발히 진행되어 왔다. 특히 추상적인 개념의 과학의 본성을 구체적으로 제시하기 위해서 미국의 주요 국가적 차원의 지침서 등에서는 과학의 본성에 관한 내용 체계를 정리하여 발표(AAAS, 1990, 1993; NRC, 1996; NSTA, 2000)하였으며, 과학교육자들은 여러 분야의 학자들과의 합의를 통한 과학의 본성에 대한 구체적 내용을 제시하였다(Lederman *et al.*, 2002; McComas, 2005; Bartholomew, Osborne & Ratcliffe, 2004; Ackerson, Morrison & McDuffie, 2006). 국내에서는 Lee (2013a)가 과학의 본성 관련 문헌을 바탕으로 4가지 영역의 과학적 소양을 기반으로 과학의 본성에 대한 개념 틀(An Inclusive Framework for the Nature of Science)을 제시하였으며 이를 기반으로 교육과정에 내포된 과학의 본성 정도를 분석하였다(Lee, 2013b, 2014). 그리고 과학의 본성 관련 개념 체계의 제시와 교사와 학생들의 인식 연구들 외에 과학의 본성에 영향을 미치는 요인들에 대한 연구(Abd-El-Khalick & Akerson, 2004; Lederman, 1999; Schwartz & Lederman, 2002)와 과학의 본성 교수방법 및 수업전략에 대한 연구(Abd-El-Khalick, Bell & Lederman, 1998; Bartholomew, Osborne & Ratcliffe, 2004; Bell *et al.*, 2003; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002) 등이 다양하게 이루어져 왔다. 한편 이와 같은 과학의 본성에 대한 다양한 관심 중에서 국내에서 주로 진행된 과학의 본성에 대한 연구는 교사나 학생들의 인식에 관한 연구로 예비교사와 현장교사의 과학의 본성에 대한 인식 연구(Kim & Park, 2013; Lim, Kim & Lee, 2004), 신규교사의 과학의 본성에 대한 신념 및 교수-학습 활동과의 관련성에 대한 질적연구(Yang *et al.*, 2005a; Yang *et al.*, 2005b), 교육 과정 구성에 대한 인식과 과학의 본성과의 상관관계 연구(Kim, Nam & Kwon, 2010) 등이 있으며, 학생 측면의 연구에서는 초등학교 및 중학교의 과학의 본성에 대한 인식 연구(Choi *et al.*, 2009; Noh *et al.*, 2002), 예술 고등학생들의 명시적 과학의 본성 수업을 통한 개념 변화에 대한 연구(Bang and Kim, 2010; Kim *et al.*, 2008; Kim & Kim, 2013), 과학영재 학생들의 과학의 본성에 대한 인식 분석(Park & Hong, 2011; Park & Yu, 2013) 등이 있다.

위와 같이 지난 20여 년간 과학교육에서는 과학의 본성이 가지는 중요성에 의하여 다양한 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 실제로 현장에서 과학 활동을 하고 있는 과학자들이 어떻게 과학의 본성을 인식하고 있는지에 대한 연구는 거의 없었다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014; Samarapungavan, Westby, & Bodner, 2006; Taylor *et al.*, 2008; Wong & Hudson, 2008). 지금까지 과학교육 연구자들은 교사들과 학생들의 과학의 본성에 대한 이해 정도를 연구하였으며 많은 선행 연구들은 예비교사들과 현장 교사들이 매우 미숙한 수준의 과학의 본성에 대한 이해를 하고 있으며(Abd-El-Khalick & Boujaoude, 1997; Aguirre, Haggerty, & Linder, 1990; Lederman, 1992; Pomeroy, 1993), 대다수의 학생들 역시 과학의 본성에 대하여 제대로 이해하지 못하고 있다는 연구 결과들을 보여주고 있다(Abd-El-Khalick, 2006; Bell *et al.*, 2003; Cakici & Bayier, 2012; Kang, Scharmann, Noh, 2005; Parker *et al.*, 2008; Ryan & Aikenhead, 1992; Walker & Zeidler, 2007). 최근에 들어서 과학교육 연구자들은 과학교육에서 과학자들의 사고와 인식을 조사하는 연구의 필요성을 주장하고 있다(Taylor *et al.*, 2008). 연구자들은 과학자들 집단과 교육자들 집단 사이에 불일치하는 과학에 대한 인식과 정의가 있다고 말하고 있다(Duschl, 2000; Harding

& Hare, 2000; Taylor *et al.*, 2008). 현재 많은 과학자들이 주로 대학이나 연구소에서 과학적 연구를 수행하고 있으며, 동시에 학생들과 예비교사들을 지도하고 있는 현실을 생각했을 때 그들의 과학의 본성에 대한 이해가 우리의 예비교사들이나 현장 교사들에게 많은 영향을 줄 수 있다는 점을 쉽게 유추할 수 있다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014). 한편 과학자들은 과학교육의 방향과 목표를 설정하는 데 있어서도 중요한 역할을 하고 있다. 그들은 주로 '내용 전문가'로서 과학교육에서 지식 영역의 방향을 제시하고 과학교육 관련 프로젝트에 대한 평가나 정책 결정자의 역할을 하기 때문에 그들의 과학의 본성에 대한 견해는 간접적인 방향으로 과학교육의 목표와 방향 설정에 큰 영향을 미치기도 한다(Taylor *et al.*, 2008). 이와 같이 과학자들의 과학교육 현장 참여는 직간접적인 다양한 방식으로 영향을 미치기 때문에 과학교육과 과학자들 간의 효과적인 상호협력 관계를 이해하기 위해서는 과학자들의 과학에 대한 인식을 알아야 할 필요성이 있다(Southerland, Gess-Newsome, & Johnston, 2003; Taylor *et al.*, 2008).

또한 과학교육 연구자들은 과학교사뿐 아니라 과학자들 역시 학생들의 과학의 본성, 지식, 탐구 학습에 중요한 조력자 역할을 하는 '숨은 자원'이라고 말하고 있다(Fedock, Zambo, & Cobern, 1996). Jeanpierre, Oberhauser, and Freeman (2005)은 학생들은 그들의 교사가 과학자들과 함께 참여한 교사연수 프로그램에 참가한 후에 더 깊이 있는 '탐구'를 경험할 수 있었다는 사실을 발견했다. 이것은 과학교사들이 과학자들과의 긴밀한 상호 작용으로 보다 정통한 탐구를 경험하고 그것이 직간접적으로 그들의 교수학습 과정에 영향을 미치고 있기 때문에 과학자들의 사고를 파악하고 교사들과의 상호작용을 이해하는 것은 중요하다(Ford & Wargo, 2007; Tsai, 2006; Varelas, House, & Wenzel, 2005). 이와 같은 배경에 따라서 최근 들어 외국을 중심으로 한 과학 교육학계에서는 과학자들에 의한 과학의 본성 측면에 대한 연구의 필요성을 제기하며 과학자들의 과학의 본성에 대한 견해와 과학교육에 대한 그들의 생각을 조사하는 연구(Bayir, Cakici, & Ertas, 2013; Schwartz & Lederman, 2008; Taylor *et al.*, 2008)들이 시작되고 있다. 본 연구도 이런 연구맥락에 의하여 과학교육에서 널리 인식된 과학의 본성에 관한 주요 내용들이 실제 현장에서 과학 활동을 하는 과학자들에 의해서는 어떻게 인식되고 있는지를 조사하기 위하여 미국에서 활동하고 있는 재미 한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 과학자들 35명을 대상으로 그들의 과학의 본성에 대한 인식을 조사하였다. 과학의 본성이 본질적으로 논쟁의 여지가 있으며 그 구체적 견해의 함의를 쉽게 이루지 못하는 인식론적인 개념인 것을 염두에 두었을 때 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식이 현재 과학교육에서 제시되고 있는 주요 과학의 본성 내용들과 어느 부분에서 일치하고 불일치하는지를 보는 것은 과학교육에서 제시되는 과학의 본성 내용들의 실용적 측면을 진단해 볼 수 있으며 다른 한편 과학교육의 경험적 측면이 과학자들에게 어떤 영향을 미쳤는지를 유추해 볼 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 그 결과의 양적 일치도에 논의의 초점을 두기 보다는 과학적 탐구를 통하여 과학적 지식을 주도적으로 만들어 가는 역할을 하는 과학자들이 어떻게 과학의 본성을 인식하고 있는지에 대한 고찰과 그들의 과학의 본성에 대한 이해가 어떻게 형성되었는지를 유추해 보는 첫 번째 단계의 연구라고 말할 수 있다.

본 연구에 대한 이해를 위해 앞서 외국에서 이루어진 과학자들의

과학의 본성에 대한 선행 연구를 살펴보면 다음과 같다. Schwartz & Lederman (2008)은 과학교육에서 제시된 과학의 본성에 대한 구체적 견해에 대하여 과학자들이 어떻게 이해하고 있는지를 조사하기 위하여 다양한 분야의 과학자들 24명을 면담하여 그 결과를 분야별 및 영역별로 논의하였다. 연구자들은 과학자들의 과학의 본성에 대한 견해는 매우 복잡하고 다양한 측면을 보였으며 어떤 특정한 철학적 입장과도 일치하지는 않는다고 하였다(Schwartz & Lederman, 2008). Wong & Hodson (2008)은 13명의 과학자들을 대상으로 개방형 질문지를 통한 과학의 본성에 대한 설문과 심층 면접을 통하여 중요한 측면의 과학의 본성에 대한 인식 연구를 진행하였다. 결론으로는 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식과 과학교육에서 제시하는 과학의 본성 측면에는 유사한 부분과 차이가 나는 부분들이 모두 나타났으며, 구체적으로 과학적 탐구의 다양성, 과학자들의 상상력과 객관성, 과학적 지식의 역할 및 잠재성 등에 대하여 다양한 과학자들의 견해를 서술하면서 과학의 본성에는 특정 상황이나 분야에 모두 일괄적으로 적용되는 유일한 측면의 고정개념은 없다고 결론을 지었다. 또 다른 연구로는 과학자들과 과학교사들의 과학의 본성 및 과학교육에 대한 견해를 조사하는 연구가 Taylor *et al.*, (2008)에 의해 진행되었으며 반구조화된 질문 형식의 인터뷰를 통하여 37명의 과학자들과 21명의 과학교사들의 과학의 본성 및 교육의 목표를 포함한 과학교육에 대한 그들의 생각을 비교 분석하였다. 가장 최근에 발표된 연구로 Bayir, Cakici, & Ertas (2014)는 총 69명의 자연과학자들과 인문과학자들을 대상으로 과학교육에서 일반적으로 받아들여진 7개 측면의 과학의 본성에 대한 그들의 생각을 조사하기 위하여 면담을 실시하였다. Bayir, Cakici, & Ertas (2014)의 연구 결과에 의하면 연구대상 과학자들은 현재 받아들여진 과학교육에서의 일반적인 과학의 본성 측면들에 대하여 완전히 동의하는 의견(informed views)도 아니고 그렇다고 아주 불일치하는 의견(naive views)도 아닌 모습을 보여주고 있었다. 또한 자연 과학자이거나 인문 과학자들 모두 거의 비슷한 모습의 의견을 보이며 과학의 본성에 대한 그들의 견해는 연구 분야에 관계없는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 선행 연구와 같은 맥락으로 재미한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 한국 과학자들 35명을 대상으로 과학의 본성에 대한 반구조화된 질문 형식의 면담지와 일부 과학자의 심층 면담을 통하여 그들의 과학의 본성에 대한 견해를 조사하였으며 그 결과를 선행 연구들과 비교 분석하여 논의하였다.

II. 연구방법

1. 연구 참여자

과학 교육에서 제시되고 있는 과학의 본성 내용들에 대한 과학자들의 이해를 조사하기 위하여 현재 미국에서 활동하고 있는 재미한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 과학자들 35명이 참여하였다. 참여 과학자들은 재미한국 과학기술자협회(KSEA) 중남부 지회 소속의 Bio-Medical Science 분야의 과학자들로서 평균 연구 경력은 13.5년이며 여성 과학자 5명과 남성 과학자 30명으로 이루어졌다. 연구 표본이 재미 과학자들인 것은 편의표본추출(convenient sampling)로 본 연구자가 소속된

Table 2. Demographic data about participating scientists

Characteristics	Number of Scientists
Gender	
Male	30
Female	5
Scientific discipline	
Biology	28
Biochemistry	7
Field of work	
University	16
Hospital	17
Industry	2
Average years post Ph.D.	
1~5 years	9
5~10 years	10
10~15 years	8
15~20 years	6
more than 20 years	2

Table 3. Demographic data of participation for in-depth interview

Scientists	Gender	Years of research experience	Scientific discipline	Field of work
A	Male	9	Biology	Neurobiology
B	Male	7	Biology	Genomics
C	Male	11	Biochemistry	Genomics
D	Female	8	Biology	Neurobiology

과학자 협회에 소속된 과학자들을 대상으로 자료 수집을 하였기 때문에 재미 과학자들의 자료를 수집하게 되었다. 참여 과학자들의 세부 연구 영역은 다양하지만 주요 영역은 생물(Biology)과 생화학(Biochemistry) 분야였으며 미국 대도시에 위치하는 대학병원 소속의 박사 후 연구원들과 연구 교수들로 구성되었다. 따라서 본 연구의 결과는 미국에 거주하며 주로 생물학 전공의 의료 관련 연구에 종사하는 과학자들을 대상으로 하였으므로 모든 영역의 과학자들의 견해라고 일반화하기에는 한계가 있다. Table 2는 본 연구에 참여한 전체 과학자들에 대한 정보이며 Table 3은 심층 면담에 참여한 4명의 과학자들의 배경이다.

2. 자료 수집 및 분석

먼저 참여 과학자들 전체의 과학의 본성에 대한 견해는 반구조화된 형식의 개방형 질문을 통한 설문지를 작성하는 형식으로 이루어졌다. 질문은 과학적 소양에 근거한 4가지 영역의 과학의 본성 개념을 기반으로 개발하였으며 이 4가지 영역의 과학의 본성 개념은 Collette and Chiappetta (1984)가 제시한 4가지 영역의 과학적 소양; Four Themes of Scientific Literacy - (1) science as a body of knowledge, (2) science as a way of investigating, (3) science as a way of thinking, and (4) the interaction of science, technology, and society 을 바탕으로 과학교육자들에 의하여 끊임없이 수정 보완되어 다수의 과학의 본성 연구의 개념 틀로 사용되어져 왔다(Chiappetta, Fillman, & Sethna, 1991; Chiappetta, Sethna, & Fillman, 1991; Chiappetta & Fillman, 2005; Kim *et al.*, 2006; Kim, Jeon, & Paik, 2007; Kim *et al.*, 2013; Lee, 2007; Lee, 2013b, Lee, 2014; Lee & Chiappetta, 2008; Lee, Son, & Kim, 2014; Seo, Hwang, & Kwak, 2010). 특히 최근 이 4가지 영역의

과학의 본성 개념 틀은 지난 20 여 년 동안 과학교육에서 발표된 주요 지침서들과 연구 논문들에서 제시된 과학의 본성 내용들을 반영하여 재구성하여 현대적 감각으로 수정된 포괄적 개념 틀(An Inclusive Framework of the Nature of Science) 로 보완되면서 과학의 본성에 대한 4가지 영역의 이론적 정당성과 포괄성을 입증하였다(Lee, 2007, 2013a). 본 연구에서는 Lee (2013a)의 포괄적 개념 틀에 제시된 과학의 본성 내용들과 The Science Teacher (National Science Teachers Association[NSTA])에 발표된 Quizzing Students on the Myths of Science (Chiappetta & Koballa, 2004)에 수록된 과학의 본성을 묻는 12개의 질문들을 바탕으로 20개의 질문 문항을 개발하고 본격 설문에 앞서 5명의 예비 참여자들을 대상으로 예비 조사를 실시하여 수정 및 보완 작업을 거친 후 총 13문항의 최종 질문 문항을 선별하였다. 참여 과학자 35명은 설문지에 포함된 13개 문항을 읽고 문항 내용의 동의여부에 따라서 기본적으로 ‘동의함(T)’, ‘동의하지 않음(F)’ 또는 ‘모름’으로 대답하고 각 문항에 대하여 본인의 응답을 뒷받침할 수 있는 설명을 서술하게 하였다. 설문 자료의 분석은 설문지의 각 진술문에 답한 과학자들의 응답을 과학교육에서 제시한 과학의 본성 측면 내용과 일치하는지에 대한 빈도를 구하고 백분율로 환산하여 제시하였다. 한편 이 설문들은 앞서 언급된 것처럼 T/F 형식이면서 부연설명을 쓸 수 있도록 하는 개방형 설문으로 구성되어 있는데 많은 응답자가 보충 설명을 쓰지 않거나 일부는 부연 설명 내용이 T/F로 대답한 것과 정확하게 일치하지 않는 경우가 있었다. 이런 경우에는 참여 과학자들이 응답한 T/F의 빈도를 연구결과에서 제시하였지만 응답자가 보여주는 흥미로운 부연 설명을 그대로 보여주는 인용 형식으로 본문에 제시하려고 하였다. 다시 말하면 많은 과학자들은 설문에 응답은 하지만 본인 스스로 과학의 본성 개념을 제대로 인식하여 설명하지 못하기도 하며 때로는 설문 응답과 그것에 대한 설명에서 차이를 보이며 개념의 혼동을 나타내는 식으로 인식론적인 한계를 보였다. 따라서 결과에서 제시된 T/F의 백분율의 분포로 과학자들이 어떻게 과학의 본성을 이해하고 있는지를 정확하게 보여주기에는 한계가 있으며 그것에 대한 보완으로 일부 과학자들을 심층 면담하여 그들의 목소리를 논문에 직접 수록하고자 하였다. 심층 면담은 전체 참여 과학자들의 설문 후 지원한 4명의 과학자를 대상으로 질문지의 13문항에 대한 본인의 응답을 더 자세하게 설명하는 자유로운 형식으로 이루어졌으며, 면담 시간은 참여자 1인당 평균 40분 정도 소요되었다. 개별적으로 이루어진 심층 면담은 내용을 모두 녹음한 후 분석을 위하여 전사하였다. 본 연구의 설문과 면담에 사용된 최종 13개의 질문들을 4가지 과학의 본성 영역 별 항목으로 정리한 내용과 설문에 대한 결과는 Table 4로 연구 결과 부분에 제시하였다.

III. 연구 결과

35명의 재미 과학자들의 과학의 본성에 대한 견해는 본 연구의 개념적 틀인 과학적 소양을 기반으로 한 4가지 영역의 과학의 본성; 1. Nature of Scientific Knowledge, 2. Nature of Scientific Inquiry, 3. Nature of Scientific Thinking, 그리고 4. Nature of interactions among science, technology, and society (STS) 으로 나누어서 살펴보았다. 전체적인 결과는 참여 과학자들이 일부 영역에서 과학 교육에서 제시된 과학의 본성과 일치되는 견해를 갖고 있었으나 일부 영역에서는 상반

Table 4. Questions items and the scientists' agreement of the NOS views

Themes	Question Items	Answer Key	Agreement
1. Nature of Scientific Knowledge	1) Scientific knowledge is a system of human beliefs.	F	57%
	2) Theories become laws if a theory is supported by more evidence.	F	37%
	3) Scientific knowledge is tentative and can be changed and modified.	T	92%
2. Nature of Scientific Inquiry	1) Science relies on observation and inference.	T	83%
	2) All scientific ideas are discovered and tested by controlled experiments.	F	43%
	3) The several steps of scientific methods procedure are only way for conducting scientific research.	F	37%
3. Nature of Scientific Thinking	1) Scientists rely on imagination to carry out their work.	T	49%
	2) Scientists are totally objective in their work.	F	69%
	3) Scientist's skepticism and criticism are critical in scientific thinking.	T	91%
4. Nature of interactions among science, technology, and society (STS)	1) Science can be used in society both positively and negatively.	T	91%
	2) Science is not influenced by cultural, social, and political environments.	F	91%
	3) Science and its method can solve all problems in society.	F	88%
	4) sScience corporate with other disciplines.	T	88%

되는 견해를 보이는 것으로 나타났다. 구체적으로 각 영역별로 분석된 결과는 다음과 같다.

1. 과학자들의 과학적 지식에 대한 본성(Nature of Scientific Knowledge)의 이해

첫 번째 질문은, '과학적 지식은 인간 신념의 집합체이다(Scientific knowledge is a system of human beliefs.)' 라는 질문에 대한 생각을 묻는 것으로 20명(57%)의 과학자들이 동의하지 않음으로 답하였고 13명(37%)은 그렇다고 하였으며 2명(6%)은 응답하지 않았다. 이것은 과학이 다른 종류의 학문과 구별되는 특성, 즉 과학은 경험적 증거에 기반을 두어 자연 현상을 탐구하는 학문으로 인간에 의한 활동이지만 단순히 인간들의 신념이나 믿음의 집합체는 아니라는 특성을 이해하는지 묻는 질문이다(Chiappetta & Koballa, 2004). 본 연구에 참여한 과학자들 중 과반수(57%)는 과학이 인간 신념의 집합체라는 질문에 동의하지 않았으나 상당수의 과학자들(37%)은 그렇다고 대답함으로써 과학자들은 과학이 인간의 활동이므로 다른 학문과 크게 다르지 않다고 생각하는 듯하였다. 본 질문에 동의하지 않는 과학자들은 주로 과학이 증거와 자료에 기반을 두는 학문이기 때문에 인간 믿음의 집합체가 아니라고 말하고 있으나, 일부 동의한다고 대답한 과학자들은 과학이 증거를 기반으로 하고 있지만 경험적 결과는 결국 인간의 생각에서 형성되는 것이고 사실이라고 믿는다는 자체가 인간의 신념이기에 과학적 지식도 인간의 신념 및 개념의 집합체라고 말하였다. 다음은 과학적 지식이 인간의 신념 체계라고 생각하는 과학자들의 목소리이다.

“과학이 증명을 하기 위해 데이터를 수집하지만 결국 자신이 생각하는 것을 데이터로 증명하는 작업이기 때문에 과학도 인간 신념의 집합체가 맞다고 생각합니다.”(과학자 B)

“과학이 틀릴 수도 있고 변할 수도 있다는 것은 과학이 인간의 생각의 체계이기 때문이라고 생각합니다. 서로 소통하고 믿고 안믿고 해석하고...이 모든 것이 인간의 생각에 의해 형성되는 작업이므로 인간 신념이나 개념의 모임이 맞는 것 같아요.”(과학자 C)

첫 번째 질문에서는 과학자들이 과학이 자연 현상을 대상으로 하여 관찰로 시작하는 인간 활동으로 과정에서 추출되는 경험적 증거에 근거한 지식 체계로 다른 학문들과의 차별성을 이해하고 있는지에 대한 질문이라고 할 수 있으나 과학자들은 과학의 궁극적 대상과 과정이 본질적으로 어떻게 다른 학문과 차별화 되는지에 대한 이해를 하지 못하고 있는 것으로 보였다. 과학 활동이 인간에 의하여 행하여지는 것은 맞으나 그것의 대상이나 지식 생성의 근거가 다른 학문과 다르다는 사실보다 과학 활동을 주도하는 과학자들의 역할이나 지식의 생성에 관여하는 인간의 활동에 더 주안점을 두고 있는 것처럼 파악 된다. 이는 과학을 학문으로 연구한다는 생각보다는 직업으로 인식하고 있는 모습으로 보이며 그들이 과학이라는 학문의 본질에 대해 심도 있는 고찰을 한 경험이 없기 때문이라고 유추된다.

두 번째 질문은 ‘과학적 법칙은 더 많은 증거로 뒷받침되면 이론이 된다(Theories become laws when a theory is supported by more evidences.)’ 라는 질문으로 과학적 지식에는 서로 다른 종류의 지식이 존재함을 인식하는지에 대한 질문으로 동의한다고 한 과학자들은 20명(57%)이었고 동의하지 않는다고 한 과학자들은 13명(37%), 그리고 2명(6%)은 응답하지 않음으로 많은 과학자들이 과학 지식의 서로 다른 종류와 그 차이를 잘 인식하지 못하는 것으로 나타났다. 과학교육에서 법칙(Law)과 이론(Theory)은 서로 다른 종류의 지식으로 법칙(Law)이 자연현상을 묘사(describe)하는 것에 반하여 이론(Theory)은 자연현상을 설명(explain)하는 것이라고 정의할 수 있다. 또한 법칙이나 이론 모두 변하고 수정될 수 있으나 법칙은 일반적으로 좀 더 사실에 가까운 측면이 있어서 쉽게 달라지지 않으나 이론은 그 안에 사실, 법칙, 원리 등과 같이 다양한 종류의 다른 과학 지식을 포함하면서 새로운 설명 체계가 받아들여지면 달라진다(Chiappetta & Koballa, 2004). 그러나 본 연구에서 많은 과학자들은 과학의 이론이 더 많은 증거와 자료로 증명되면 법칙이 될 수 있다는 오개념(Misconception)을 갖고 있는 것으로 관찰됨으로써 선행 연구에서 나타난 결과와 유사함을 알 수 있다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014). Bayir, Cakici, & Ertas (2014)의 연구에서는 연구 참여 과학자 69명중의 약 48%가 이론이 더 증명되면 법칙이 된다고 응답하였다. 또한 우리나라 예비 과학교사들의 과학의 본성 개념에 대한 선행 연구에서는 이론은 증명되지 않는 주관적인 상태이며 법칙은 실험에 의해 증명된 객관적 사실이라고 응답함으로써 이론이 증명되면 법칙이 될 수 있다고 믿음으로 본 연구 결과와 일치하고 있었다(Kim, 2010). 이와 같이 많은 과학자들이 법칙과 이론의 차이를 확실히 인지하고 있지 못하고 있었지만 일부 과학자들은 다음과 같이 설명하면서 이론과 법칙의 차이를 이해하고 있었다.

“과학적 법칙은 단순히 더 많은 증거를 요구하기 보다는 좀 더 확실하고 결정적인 증거 또는 데이터를 필요로 한다고 봐요. 뉴턴의 운동의 법칙처럼...뉴턴의 운동 법칙은 다윈의 진화설과는 확실히 다르죠.”(과학자 D)

흥미롭게도 과학자들은 과학적 법칙과 이론의 차이점을 잘 모르면

서도 이론과 법칙의 예를 이용하였을 때에는 그 차이를 알고 있는 것처럼 보였다. 이는 과학자들이 법칙과 이론이 다르다는 것을 알아도 정확한 용어의 정의를 모르고 있으며 또한 서로 다른 종류의 지식이 존재한다는 과학의 본성을 생각해 본적이 없는 것으로 유추된다. 선행 연구들에서도 이와 같이 법칙과 이론의 의미에 대한 혼돈과 몰이해는 각각의 용어에 대한 고찰의 부족과 학교에서 교과서 등을 통하여 경험하는 과학교육과정에서 유래된 오개념이라고 지적하였다(Bayir, Cakici, & Ertas 2014; Kang, Scharmann, Noh, 2005; Liu & Lederman, 2007; Wong & Hodson, 2008). 또한 이것은 우리나라 선행 연구에서도 지적된 부분으로 예비 과학교사들이 학교에서 다양한 이론 및 법칙을 배우기는 했지만 무엇이 이론이고 법칙인지에 대한 논의는 이루어지지 않았다는 결과(Kim, 2010)와 같은 맥락으로 보였다. 한편 한 과학자는 정확한 정의는 모르지만 대부분의 과학자들이 “법칙(Law)”은 일종의 “절대로 변하지 않는 것”이라는 개념을 포함하고 있기 때문에 “법칙”이라는 용어의 사용을 불편해 하고 있다고 다음과 같이 지적하고 있다.

“요즘에는 ‘법칙(Law)’이라는 용어를 거의 쓰지 않아요. 대신 저희 분야에서는 ‘central dogma’라는 용어를 씁니다. 그런데 이 용어도 요즘에는 다르게 변하고 있어요. 아무튼 법칙은 절대 변하지 않는 것이라는 개념이 포함되어서 그런지 고전적인 법칙인 ‘멘델의 법칙’과 같은 것 외에는 요즘은 그 용어를 실제로는 안 쓰고 있어요.”(과학자 A)

이것은 Wong & Hodson (2008)의 연구에서 참여 과학자가 제기한 내용과 아주 유사한 것으로 한 우주물리학자는 법칙을 포함한 모든 과학적 지식들이 변할 수도 있는 요즘에는 ‘절대 변하지 않는 진리’라는 법칙이라는 용어의 위험성과 혼란성 때문에 현재 과학 분야에서 더 이상 쓰지 않는다고 지적하였다.

세 번째 질문은 ‘과학적 지식은 잠정적이며 변하거나 수정될 수 있다(Scientific knowledge is tentative and can be changed and modified.)’으로 과학 지식의 가변성을 묻는 질문으로 대부분의 과학자들이 이 문장에 동의한다(32명-92%)고 함으로써 과학지식의 가변성을 잘 이해하고 있었다. 과학 지식의 가변성은 과학의 본성 측면에서 가장 중요한 내용 중의 하나로 우리나라의 예비교사를 대상으로 과학의 본성에 대한 이해를 조사하는 선행연구들에서도 많은 예비교사들이 과학 지식의 가변성을 잘 이해하고 있다고 밝히고 있다 (Park & Lee, 2005; Lee & Choi, 2002). 재미 과학자들은 과학 지식의 가변성에 대하여 다음과 같이 설명하고 있다.

“과학지식은 관찰에서 나온 최선의 추측(the best guess)이기 때문에 언제든지 바뀌고 변할 수 있다.”(설문지 중에서)

“과학지식은 끊임없이 변하고 있습니다. 새로운 데이터가 나오면 수정되고 바뀔 수 있으며 게다가 새로운 기술이 개발되면서 이전까지 사실로 믿어지던 것이 다르게 나올 수 있기 때문입니다.”(과학자 B)

“과학은 그 시대에 맞는 최선의 테크닉을 통하여 진행되기 때문에 테크닉의 발전 및 변화가 이루어지면 당연히 달라지도록 되어 있습니다.”(과학자 C)

과학자들은 대다수가 과학지식의 도출이 관찰과 데이터에 근거하

기 때문에 방법이 다르면 결과가 다르게 나타나게 되며 따라서 과학 지식은 달라질 수 있다고 생각하고 있었다. 즉 과학의 변화를 과정의 변화로 인지하는 것이 관찰되었다. 마찬가지로 앞선 외국에서의 과학자들의 과학의 본성을 조사하는 연구들에서도 참여한 과학자들의 대부분은 과학지식의 잠정성과 변화가능성을 매우 확고하게 인지하고 있었다(Bayir Cakici, & Ertas, 2014; Schwartz & Lederman, 2008; Wong & Hodson, 2008). 반면에 흥미로운 것은 과학자들이 아닌 과학교사나 예비교사를 대상으로 한 선행연구에서는 다소 다른 결과를 보이고 있었다. 많은 예비 교사들이 과학 지식의 잠정성을 인정하면서도 분명하고 자신 있는 신념을 제시하지 못하며(Yang *et al.*, 2005a), 과학지식이 변한다고 생각하면서도 언젠가는 절대적인 지식을 발견할 수 있다는 생각을 동시에 가짐으로 가변성에 대한 혼동을 지적하는 연구 결과(Nam *et al.*, 2007)들에서 그 차이를 볼 수 있다. 이와 같이 과학자들은 과학의 변화 가능성에 대해 확신에 차있는 것에 반하여 과학교사들이 다소 다른 양상을 보이는 이유는 연구에 참여한 과학자들이 모두 현장에서 활동하고 있는 과학자들로서 현재 진행 중인 과학 연구가 과학 지식의 변화 가능성에 기초를 두고 있기 때문에 몸소 이 측면의 과학의 본성에 대해서 체험하고 있는 것에 비하여 과학교사들이나 예비교사들은 이미 발견되고 정리된 결과인 과학지식의 학습 활동에 집중하기 때문에 지식의 가변성을 학습으로만 인지한 결과가 아닐까하는 유추를 할 수 있다.

2. 과학자들의 과학적 탐구에 대한 본성(Nature of Scientific Inquiry)의 이해

과학적 탐구의 본성에 대한 첫 번째 질문은 ‘과학은 관찰과 추론에 근거한다(Science relies on observation and inference.)’으로 과학적 탐구 방법이 관찰뿐만 아니라 추론에 근거한다는 본성을 질문하는 것으로 대다수의 과학자들(29명-83%)이 과학탐구에서 관찰과 추론 두 가지의 역할 및 중요성을 알고 있는 것으로 보였다. 그러나 일부 과학자들(4명-11%)의 그렇지 않다고 응답했으며 나머지 2명(6%)은 모른다고 하였다. 동의하지 않는 과학자들은 과학이 관찰에 근거하는 것은 사실이나 추론은 논리적이긴 하지만 객관적일 수 없으므로 틀린 탐구 방법이라고 말하고 있다.

“과학의 기본은 관찰이지만 추론이 많이 사용된다고 생각해요. 그런데 추론은 주로 기존의 이론에 기초를 두고 하는 경우이며야 하죠. 예를 들면 가설도 일종의 추론의 하나이지만 가설의 형성은 기존의 이론을 바탕으로 해야 하는 것이니까요.”(과학자 B)

“추론은 자신의 견해에 바탕을 두고 있기 때문에 과학적 방법에 적당하지 않다. 과학에서는 객관성이 중요하므로 자신의 추론은 객관적일 수 없기 때문이다.”(설문지 부연 설명에서)

탐구에 관련된 두 번째 질문은 ‘모든 과학적 개념은 통제된 실험으로 발견되고 시험되어 형성되었다(All scientific ideas are discovered and tested by controlled experiments.)’으로 15명(43%)의 과학자들이 동의하지 않는다고 응답하였으나 19명(54%)의 과학자들은 동의한다고 대답함으로 상당수의 과학자들이 실험이 과학적 발견을 하는 유일한 방법이라고 생각하는 것으로 나타났다. 이것은 모든 이론들이 반드시

시 과학적 실험을 통해서 뒷받침 될 수 없으며 역사적 고찰이나 자료 수집과 같은 다른 여러 종류의 탐구도 역시 정통한 과학적 탐구의 방법이 될 수 있다(Chiappetta & Koballa, 2010)는 과학의 본성을 많은 과학자들이(54%) 잘 이해하지 못하고 있는 것으로 보였다. 다음은 실험으로 모든 과학적 이론을 만드는 것은 아니라고 생각하는 과학자들의 설명이다.

“실험은 확인하는 절차이기는 하지만 모든 이론들이 실험으로 만들어 지지는 않다.”(설문지에서서)

“과학자들이 가설을 확인하기 위하여 실험을 하기는 하지만 우리가 모든 상황을 제한(control) 할 수는 없기 때문에 맞지 않다.”(설문지 부연 설명에서)

그러나 심층 면담에 응한 과학자들은 실험이 과학적 이론이나 법칙을 만들어 내는 유일한 방법이라고 생각하는 견해를 보였으며 다음과 같이 설명하고 있다.

“과학적이라는 말의 경의를 어떻게 내려야 하는지에 대해서 먼저 생각해야 할 것 같지만 제가 일하는 분야에 국한하여 과학적 활동이라고 생각하면 맞다(모든 과학적 개념이 실험으로 발견되어진다)고 생각합니다. 저는 개인적으로 ‘과학적’이라는 것은 ‘실험에서 증명된’이라고 생각합니다.”(과학자 A)
 “특히 제 분야에서는 실험군과 대조군이 있어서 그것의 차이를 데이터로 찾아내고 그 증거를 바탕으로 가설, 즉 과학적 개념의 옳고 그름을 판단하기 때문에 모든 결과는 실험으로 확인되고 증명되어야 과학적이라고 할 수 있다고 생각합니다.”(과학자 B)

“예외라는 것이 있기는 하지만 대부분의 과학적 사실은 실험으로 확인되어야 하기 때문이다.”(설문지에서서)

“다른 여러 가지 방법으로 과학적 가설이나 이론을 만들어 낼 수는 있지만 결국은 실험을 통하여 증명되어야 과학적이라고 할 수 있다.”(설문지에서서)

이와 같이 과학자들은 과학 탐구의 다양성을 인정하면서도 결국은 실험으로 ‘증명’되어야만 ‘과학적’이라고 생각하고 있으며 최종적인 과학 지식의 완성에는 실험을 통해야 한다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이것은 “과학에서는 어느 것도 증명(proven)되어 지거나 완전하게 사실인 것은 없다. 통제된 실험은 완전한 증명을 하는 것이 아니고 오직 가설의 뒷받침 여부에 대한 증거로 인과관계에 대한 정보를 제공해 준다(Chiappetta & Koballa, 2004, 61p)”라는 과학의 본성을 이해하지 못한 결과라고 보여진다. 보편적인 과학적 방법의 존재에 대한 과학의 본성은 오랫동안 많은 관심을 받고 있는 부분으로 선행연구에서도 흥미로운 논의결과를 보여주고 있다. Bayir, Cakici, & Ertas (2014)의 연구에서도 69명 참여 과학자들 중에서 74%의 과학자들이 보편적 과학적 방법의 존재에 대하여 인정하고 있었고, Wong & Hodson (2008)의 연구에서는 특정 분야에 종사하는 일부 과학자는 ‘보편적 방법 같은 것은 없다(There is no particular procedure)’는 표현을 쓰기는 하였지만 여전히 많은 수의 과학자들이 실험을 통한 과학적 발견 및 과정이 보편적이라고 말하고 있었다. 이렇게 과학자들의 보편적 탐구 방법이 존재한다고 믿는 과학의 본성에 대한 오해는 예비 과학교사들이 실험을 통한 가설-연역적 방법이 가장 과학적인 방법이라고 생각하는 선행 연구 결과와도 유사하다(Abd-El-Khalick & Boujaude, 1997; Lederman, 1992; Nam et al., 2007). Nam et al.(2007)

의 연구에서도 “예비 교사들은 과학은 증명해 보여야 하므로 이를 위해서는 실험이 가장 논리적이고 타당한 방법이라고 생각하는 경향을 나타냈다(p. 258)”라고 서술하며 실험에 대한 예비 교사들의 절대적 신뢰를 지적하고 있었다. Lederman (2002)은 다양한 과학의 본성들 중에서 ‘보편적 방법의 존재’가 가장 널리 인식된 오개념이라고 지적하였으며 McComas (1998)는 그 이유를 과학자들이 연구의 출판을 위해 논문의 일정 형식에 맞추어 방법을 기술하는 과정에서 생겨난 큰 오해라고 지적하였다. 또한 이 보편적 과학의 방법으로서의 실험에 대한 인식은 교과서와 같은 교육과정 및 학교 과학에서 형성되고 있는 것으로 유추된다. 과학의 본성에 대한 교과서 분석 연구에서도 일부 교과서들은 ‘과학적 방법의 다양성’을 직접적으로 명시하고 있으나 대부분의 교과서들은 과학적 방법을 소개하는 단원에 바로 실험의 방법과 과정만을 제시함으로 학생들에게 과학적 방법은 곧 실험이라는 개념을 유도하고 있다(Lee, 2013b; Lee, 2007). 오랜 학교 과학교육에서 훈련된 우리 과학자들 또한 학교 실험실에서 시작한 실험 경험에서 과학적 방법이 곧 실험이며 이것이 유일한 방법이라는 인식을 무의식 중에 갖게 되었을 거라고 생각된다. 또한 앞서 제시된 과학적 지식의 잠정성 측면에서 ‘새로운 기술이 개발되면서 이전까지 사실로 믿어지던 것이 다르게 나올 수 있기 때문’이라는 의견은 새로운 기술이 오로지 실험에서 사용되어지는 새로운 기술이라는 전제로 말하고 있는 것 같았다. 실제로 현대의 발달한 컴퓨터 기술이 실험 과정에서 데이터 수집이나 해석에서 주로 사용되어 지고 있고 매일 실험실로 출근하는 과학자들의 생활을 보면 이런 개념의 형성이 자연스럽기도 하지만 본질적으로 과학적 방법의 다양성을 생각해 본적도 없는 것은 그들의 연구에 큰 한계로 작용할 수 있다고 판단된다.

과학적 탐구에 대한 세 번째 질문은 두 번째 질문과 유사한 것으로 역시 보편적 과학적 방법의 존재 유무에 대한 질문으로 ‘과학연구를 행하는 것에는 몇 가지 단계를 거치는 방법이 유일하다(The several steps of scientific methods procedure are only way for conducting scientific research.)’이다. 이 질문에 대해서도 위의 두 번째 질문의 결과와 유사하게 21명(60%)의 과학자들이 동의한다고 대답하였고 13명(37%)의 과학자들은 동의하지 않는다고 하였으며 1명(3%)은 모른다고 응답하였다. 이와 같이 일부 과학자들이 과학적 탐구의 다양성을 이해하고 있지만 여전히 상당수(60%)의 과학자들은 실험의 과정인 일련의 단계: 가설설정, 실험 설계, 변인통제, 가설검증, 결론도출 등과 같은 정해진 순서가 과학의 ‘유일한 탐구’라는 오개념을 갖고 있는 것으로 나타났다. 과학교육에서는 과학의 본성 연구이후 과학적 탐구의 다양성에 대해서 많은 관심을 갖게 되었으며 과학자들이 관찰과 실험 등을 과학탐구에 자주 이용되지만 그 탐구과정의 순서를 제시하는 유일한 과학적 방법이나 단계는 없다는 측면을 분명히 발표하였다(AAAS, 1990, 1993; Akerson, Morrison, & McDuffie, 2006; Bartholomew, Osborne, & Ratcliffe, 2004; Lederman et al., 2002; McComas, 2005; NRC, 1996; NSTA, 2000). 그럼에도 불구하고 본 연구를 포함하여 앞선 선행 연구에서 나타나듯이 아직도 많은 과학자들이 이 측면에 대하여 충분한 이해를 하지 못하고 있음을 보여주고 있으며(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014; Schwartz & Lederman, 2008; Wong & Hodson, 2008), 마찬가지로 예비 교사들도 과학의 방법을 구조화된 일련의 단계들로 생각하는 것으로 나타나고 있다(Nam et al., 2007). Wong & Hodson (2008)는 선행 연구에서 다음과 같이 서술

하고 있다. “놀랍지 않게도, 대다수의 과학자들은 ‘가설 설정’을 자신들의 연구에서 전형적인 단계로 인식하고 있으며 연구결과에 대하여 종종 예측을 한다고 말하고 있었다.” (p. 10). 이렇게 과학의 방법으로 실험의 과정을 유일하게 생각하는 오개념은 앞서 지적했듯이 과학자들이나 교사들이 학교 과학교육에서 실험이 과학적 개념을 확인하는 방법으로 실행되어 지는 경험과 교과서와 같은 교과과정에서 실험이 과학적 탐구로 유일한 방법인 것처럼 묘사(Lee, 2013b)되는 데에서 오는 결과라고 생각된다. 실제로 대부분의 학교 과학실험에서 행해지는 실험의 형태가 수업 중 학습한 이론을 검증하는 과정으로 실행되고 있으며 이것으로 인하여 많은 학생들에게 제한된 탐구의 경험을 제공하고 있기 때문이다 (Nam *et al.*, 2007; Reiff, 2004; Rudolph, 2000). 다음은 심층 면담에서 볼 수 있는 과학자들의 과학적 방법에 대한 오개념의 모습이며 이것을 통하여 오개념 형성의 원인을 유추해 볼 수 있다.

“과학적이라는 정의가 일단 관찰을 통한 가설 설정, 실험 설계, 실험 수행, 그리고 결과 수집 및 해석이라는 단계를 말하고 있다고 생각합니다. 이걸 오래전에 학교에서 배웠고 또 제가 하는 연구에서도 많은 경우에 이 단계를 통하여 진행하고 있어요.”(과학자 B)

“과학적이라는 말을 하려면 일련의 과정을 거쳐야 한다고 생각하는데 바로 실험의 몇 단계가 그 과정이라고 생각합니다. 그리고 실제로 연구에서 진행하는 순서이기도 하며 보고서를 쓸 때는 반드시 이 형식으로 작성하고 있습니다. 그래서 과학적 방법은 곧 이런 과정의 진행이라는 정의를 갖고 있는데요.”(과학자 C)

3. 과학자들의 과학적 사고에 대한 본성(Nature of Scientific Thinking)의 이해

과학적 사고에 대한 본성을 묻는 첫 번째 질문은 ‘과학자들은 연구를 수행할 때 상상력과 창의력에 의존한다; Scientists rely on imagination and creativity to carry out their work.’으로 과학자들의 사고의 특징 중 상상력과 창의력의 중요성에 대한 이해를 묻는 것으로 17명(48%)은 동의한다고, 16명(46%)은 동의하지 않는다고 응답했으며 나머지 2명(6%)은 모른다고 대답하였다. 이 질문은 참여 과학자들이 비슷한 비율로 서로 다른 견해를 보여주고 있는 양상으로 많은 과학자들이 과학자들 본인의 사고에 대한 특징을 잘 이해하지 못하고 있었다. 과학자들이 자연의 원리를 유추, 은유, 수학을 이용하여 설명하고 표현하는 데에는 상상력과 창의성이 필요함에도 불구하고 많은 사람들은 여전히 과학자들이 항상 실험실에서 정해진 순서에 따라서 실험만을 수행하는 틀에 박힌 모습의 과학자의 이미지를 상상하고 있다(Chiappetta & Koballa, 2004). 흥미로운 사실은 본 연구결과처럼 정작 과학자들은 자신들의 상상력과 창의력의 가치를 이해하지 못하고 있는 것에 비하여 대다수의 교사들은 과학자들이 창의력과 상상력을 사용한다고 응답한 선행 연구결과(Kim, 2010)와의 차이이다. 과학적 사고로서 상상력과 창의력에 대하여 연구에 참여한 과학자들은 다음과 같은 견해를 보이고 있다.

“상상력을 이용하기는 하지만 항상 그렇지는 않다.”(설문지에서)

“가설을 설정하는 단계에서는 상상력을 이용하지만 결국은 과학적 결론은

실험으로 증명되어야 하는 것이다.”(설문지에서)

“과학적 태도는 객관적이어야 하는데 상상력은 개인의 심한 주관적 사고이므로 과학적 사고라고 할 수 없으며, 상상력에 의지해서는 안된다고 생각해요.”(과학자 A)

“과학자들이 창의적이어야 한다는 것은 동의합니다. 그러나 상상력은...글쎄요 상상력이라고 하기보다는... '직관(intuition)'을 이용한다고 말하고 싶네요. 물론 예상과 다른 결과를 해석하기 위해서는 상상을 이용하기도 하지만요.”(과학자 B)

“가설 설정이나 자료 분석 등에서 자신의 생각을 개입해서 해야 하기 때문에 상상력이 필요하지만...일단 기존의 지식을 바탕으로 생각을 유추해 나가야 하기 때문에 보통 '상상'이라는 표현은 좀 애매하네요. 상상은 잘못하면 허황된 '공상'을 포함하기도 하는 것 같아서요. 그러나 과학자들이 창의적이라는 말은 분명합니다.”(과학자 D)

위와 같이 일부 과학자들은 심층 면담을 통하여 과학 활동에서 상상력과 창의력의 중요성을 이해하고 가설 설정이나 자료 해석 등과 같은 구체적 과정에서 상상력의 필요성을 들어내지만 한편으로는 ‘상상력’이라는 용어의 사용에 불편해 하고 있음을 알 수 있다. 이는 과학자들 자신이 스스로 상상력이나 창의력에 의지하여 자유로운 사고를 하는 것을 바람직하게 생각하기 보다는 객관적이고 체계적인 사고를 더 중요하게 인식하고 있기 때문인 것처럼 보였다. 이것은 과학적 활동을 하는 과학자들이 스스로 과학의 본성을 충분히 이해하지 못함으로 창의력과 상상력에 대한 관대한 허용을 하지 못하고 그로 인하여 그 사고력을 충분히 발휘하지 못하지 않을까 하는 우려를 갖게 하였다. 이것은 앞서 분석된 법칙(Law)과 이론(theory)을 구분하지 못하는 것이나 과학적 방법의 다양성처럼 우리 과학자들이 학교 과학교육 과정에서 상상력과 창의력의 중요성을 강조하는 과학의 본성에 대한 학습을 경험하지 못하였기 때문에 이와 같은 한계를 보인다고 생각되었다. 또한 다른 영역들에서 지금까지 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식이 외국의 선행연구 결과와 유사했던 것에 반하여 이 결과는 다르게 나타나는 부분이었다. Wong & Hodson(2008)는 13명의 다양한 분야의 과학자들을 심층 면담하여 그들의 과학의 본성을 조사하였을 때 창의성과 상상력이라는 과학적 사고는 “참여 과학자들 모두가 과학 활동 모든 단계에서 매우 중요하다고 말했다.”(p. 11)라고 하였다. 유사하게 최근의 다른 선행 연구에서도 일부 과학자들은 제외하더라도 “참여한 과학자들 모두가 상상력의 중요성을 인정하였다”(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014, p. 1305)고 설명하였다. 이것은 선행 연구에 참여한 외국의 과학자들이 상상력의 중요성을 매우 잘 인지하고 있는데 비하여 우리나라 과학자들은 상상력이라는 용어와 그 중요성에 깊이 공감하지 못하는 모습을 보임으로 그 차이를 나타내고 있었다. 이와 같은 결과는 우리나라 과학자들의 견해가 외국의 과학자들의 과학의 본성에 대한 이해와 다르다는 점에서 주목해 볼 필요가 있다고 생각된다. 우리 과학자들이 왜 그리고 어떻게 이런 과학의 본성에 대한 인식을 하게 되었는지 그 개념의 형성 및 원인을 분석할 수 있는 추후 연구와 좀 더 심도 있는 방식으로 오개념의 추적이 필요하다고 생각된다.

과학적 사고에 대한 두 번째 질문은 ‘과학자들은 자신들의 연구에서 완전히 객관적이다; Scientists are totally objective in their work.’이었으며 이 질문에 대해서는 대다수의 과학자들(25명-71%)이 동의하지

않으므로 과학자들이 완전히 객관적일 수 없음을 인정하였다. 많은 과학자들이 과학적 활동을 할 때 객관적 이려고 시도하지만 완전히 객관적이기는 불가능하다고 말하였고 이는 과학이 인간 활동의 한 영역이기 때문이라고 하였다. 과학자들도 인간이기 때문에 때로는 자신들이 보고 싶어 하는 또는 보려고 하는 현상에 집착하게 되며 때로는 자신의 신념과 맞지 않는 경우는 간과할 수밖에 없다는 것은 중요한 과학의 본성의 한 측면(Chiappetta & Koballa, 2004)이다. 또한 실제로 과학 활동에 종사하는 과학자들은 이와 같은 한계를 비교적 잘 이해하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 한편으로 많은 과학자들이 과학적 사고의 특징으로 완전히 객관적일 수는 없다는 것은 인정하면서도 앞의 질문인 과학적 사고에서 상상력과 창의력에 의지한다는 것은 인정하지 못하는 것은 다소 모순되는 결과라고 보인다. 과학자들이 완전히 객관적일 수 없는 주요한 이유 중의 하나가 과학 활동에 있어서 자신의 상상력이나 창의력과 같은 주관적 견해에 많이 의지하게 되기 때문이라는 사실을 전제로 한다면 두 결과의 모순은 과학자들이 자신의 사고의 특징을 신중히 반성해 본 경험이 없기 때문인 것으로 판단된다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014). 이런 모순은 과학자들이 설문에서 응답한 답변과 실제로 자신들이 갖고 있는 과학에 대한 개념이 차이가 있을 수 있다는 점을 염두에 두고 좀 더 심도있게 그들의 진정한 인식이 무엇인지 알아 볼 필요에서 추후 연구의 필요성을 제시하고 있다. 그리고 많은 과학자들이 완전히 객관적일 수 없다는 측면을 이해하면서도 여전히 약 30% 정도의 과학자들은 과학자들이 철저히 객관적이어야 한다고 생각하고 있었다. 이것은 Bayier, Cakici, & Ertas (2014)의 연구에서 약 20%의 과학자들이 완전한 객관성을 과학자의 특징으로 생각한다는 선행 연구 결과와 비교적 유사하게 나타나고 있으나 Wong & Hodson (2008)의 연구에서는 모든 참여 과학자들이 과학자의 완전한 객관성은 불가능하다고 말한 것과는 차이를 보이고 있다. 다음은 본 연구의 심층면담에 참여한 과학자들의 견해이다.

“비람직한 일은 아니라고 생각하지만, 과학자들도 자신이 보고 싶은 것이나 원하는 것을 보려고 하는 경향이 분명히 있습니다. 그러니까 객관적 이려고 하지만 완전히 객관적일 수는 없지요.”(과학자 A)

“데이터의 해석 등에서 과학자 본인의 신념이나 관심에 집착하는 경향이 큼니다. 주관이 많이 개입되었다고 할 수 있지요. 다시 말해 보고 싶은 것을 보려고 하고 찾고 싶은 것을 찾으려고 때로는 고집을 부리고 집착을 하지요.”(과학자 B)

마지막 과학적 사고의 본성에 대한 질문은 ‘과학자들의 회의적 태도나 비판력은 과학 연구에 아주 중요한 역할을 한다; Scientist's skepticism and criticism are critical in scientific thinking.’으로 32명(91%)의 대부분의 과학자들이 동의한다고 대답함으로써 과학자들은 회의적 태도와 비판적 사고의 중요성을 매우 잘 이해하고 있었다. 과학자들의 회의적 태도와 비판적 사고는 과학자들의 사고의 특성 중 상상력과 창의력만큼 중요한 특징으로 과학자들 자신들 또한 이런 사고의 특징이 중요함을 다음과 같이 면담에서 특별히 강조하였다.

“과학자들은 사실 항상 심지어 자신을 포함해서 모든 일에서 의심하고 비판하는 태도를 갖어야 한다.”(설문지에서)

“회의적 또는 비판적 태도와 사고가 없다면 과학은 발달할 수 없다.”(설문지에

서)

“과학자들의 논문이 가치를 갖는 것은 동료 과학자들의 비판을 통한 검증을 통해서라고 봅니다. 따라서 그 과정에서 어떤 연구 주제에 대한 과학자들의 회의적 태도가 없다면 검증의 의미가 없지요. 그 만큼 과학자들에게 중요한 사고의 특징이라고 생각합니다.”(과학자 A)

“비판적 사고는 매우 중요하지만 때로는 너무 비판적이 되어 본질이 왜곡되는 경우도 있는 것 같습니다. 말하자면 다른 사람들의 연구를 볼 때 지나치게 비판적이라 과학의 발전이 저해되기도 한다고 생각해요.” (과학자 B)

이와 같이 과학자들의 사고의 특징으로 회의적 및 비판적 태도의 중요성은 연구에 참여한 대부분의 과학자들이 전적으로 동의하는 대답을 하였다. 이는 과학자들이 상상력의 중요성이나 완전한 객관성의 불가능함을 충분히 이해하지 못하고 있는 앞의 결과와는 다르게 비판적 태도의 중요성은 확실하게 인지하고 있다고 보였다. 그 이유는 앞서 언급했듯이 많은 과학자들이 과학의 본성이나 본인의 사고의 특징을 깊이 있게 반성해 볼 기회를 갖지 못하였음에도 불구하고 연구 논문을 쓰고 검증하는 과정에서 비판적 사고의 훈련을 경험함으로써 이 사고적 특징을 잘 인식하고 있는 것으로 보였다. 이와 같이 과학의 본성 중 과학적 사고의 특징을 이해하는 부분은 과학자들의 활동의 특징을 이해하고 과학의 발달이 어떻게 이루어 졌는지를 이해하는 측면에서 매우 중요한 부분으로 과학자들을 대상으로 한 외국의 선행연구들에서도 과학적 상상력, 창의력, 객관성 등과 같은 과학자들의 사고의 특징에 대한 과학의 본성을 연구 조사하였다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014; Schwartz & Lederman, 2008; Wong & Hodson, 2008). 그러나 우리나라에서 행하여진 예비 교사들이나 과학교사들을 대상으로 한 과학의 본성 인식 조사 연구에서는 과학 본성의 지식적 측면, 방법적 측면, 그리고 사회적 역할 측면 등은 주로 연구하였으나 과학적 사고의 특징에 대한 조사는 거의 이루어지지 않았다. 과학의 본성 연구가 인식론적인 분야인 것을 염두에 두었을 때 과학적 지식의 형성이나 탐구의 과정이 모두 과학의 사고적 특징에 바탕을 둘 수 있기 때문에 중요한 영역임에 틀림이 없다. 특히 현대 과학교육의 목표가 창의적이고 융합적인 인재 양성(MEST, 2012)임을 고려했을 때 과학의 본성에 사고적 특징을 이해하고 연구 논의되어야 할 필요가 있다고 생각된다.

4. 과학자들의 과학과 기술, 그리고 사회의 상호적 관계에 대한 본성 (Nature of interactions among science, technology, and society (STS))의 이해

본 연구의 이론적 기반이 된 과학의 본성에 대한 포괄적 개념 틀(An Inclusive Framework of the Nature of Science)에서 가장 많은 과학의 본성 측면을 제시하고 있는 영역이 과학과 기술, 그리고 사회와의 관계적 본성(STS) 부분으로 과학교육의 주요 지침서들과 많은 연구 논문 등에서 이 측면의 과학의 본성을 강조하고 있다(Lee, 2013a). 따라서 본 면담의 질문에서도 이 영역의 질문 수는 다른 영역들보다 많은 4가지 문항이었으며, 심층면담도 4가지 질문 중심으로 진행하였다. 먼저 첫 번째 질문은 ‘과학은 사회에 긍정적 측면뿐 아니라 부정적 측면으로도 이용되어 진다; Science can be used in society both positively and negatively.’으로 사회에서 과학이 긍정적인 방향으로만이 아닌 부정적인 방향으로도 이용되어진다는 것에 대한 이해를 묻는

질문이었으며 거의 모든 참여 과학자들(32명-91%)이 본 측면을 잘 이해하는 쪽으로 응답하였다. 과학자들은 과학의 사회적 영향에 대해 충분히 이해하고 있었으며 특히 부정적 영향에 대하여 과학에 대한 사회적 반응과 인식을 우려하면서 책임감을 느끼고 있는 것으로 보였다. 그러나 한편 과학 자체는 가치중립성을 갖으며 그 사용이나 영향은 과학의 영역이 아닌 것으로 인식하고 있는 모습도 보이고 있었다. 다음은 과학자들의 이 질문에 대한 견해이다.

“과학으로 생명을 살릴 수도 있지만 한편 무기와 약물처럼 생명을 죽이기도 한다. 그 만큼 과학의 영향력이 크다는 뜻이고 그것 때문에 과학자로서 책임감 또한 크다.”(설문지에서)

“요즘은 과학의 긍정적인 측면의 공헌이 아닌 부정적 영향에 대해 많이 생각하는 것 같습니다. 마치 과학자들의 윤리의식이 부족해 사회에 부정적인 영향을 미치는 것처럼 묘사되는 것 같은데 과학이 어떻게 사용되어 지느냐 하는 것은 과학자체와 다른 문제이고 어떤 목적으로든 사용되어질 수 있는 도구이라고 생각합니다. 그러니까 과학 자체는 중립(neutral)이라고 할 수 있지요.”(과학자 A)

“약물이나 무기와 같이 과학의 발달로 사회에 부정적 영향을 주는 것은 사실입니다. 그러나 과학과 그것의 적용이나 이용은 다른 문제라고 생각해요.”(과학자 D)

본 연구의 질문은 과학자들이 과학의 긍정적/부정적 영향을 이해하고 있는 지만을 묻고 있는 질문이지만 면담에서 나타난 논의로써 과학자들은 과학의 이용은 과학자들의 문제가 아니며 과학이 가치중립적이라고 생각하는 경향이 큰 것은 고민해 보아야 할 문제라고 생각된다. 과학의 역사 속에서 많은 과학자들이 자신들의 연구 결과와 과학적 발견으로 인하여 생겨난 사회와의 충돌이나 갈등, 그리고 인류사를 위협할 수 있는 무기 개발과 전쟁과 같은 문제에서 고뇌하고 분투했던 모습들을 돌이켜 본다면 과학자들의 영역이 어디까지 인지하는 다시 한번 재정립해 볼 여지가 있다고 생각된다. 문제 해결력뿐 아니라 의사결정력 및 융합적인 사고를 가진 미래 인재의 모습을 상상하였을 때 과학을 비롯한 모든 학문은 더 이상 가치중립적일 수 있을까? 진정한 의미의 과학지식의 융합은 과학지식뿐 아니라 사고의 융합이 필요하며 창의적이고 비판적인 사고를 위해 과학윤리 교육이 필요하다는 어느 석학의 말이 의미하는 것처럼 과학자들도 언젠가 히포크라테스처럼 과학윤리 선언을 하게 될 지도 모를 일이다. 갈릴레이가 진실을 부인하면서 고뇌했던 모습이나 아인슈타인이 원자폭탄의 개발에 깊은 책임감을 느끼고 인류의 평화를 위해 노력했던 모습을 생각해 보아도 과학자들이 과학 활동 자체만의 책임이 있고 그 영향에 대한 부분은 외면할 수 있는 것인지는 과학의 본성으로 고민해 볼 필요가 있다고 생각된다.

두 번째 질문은 ‘과학은 문화적, 사회적, 그리고 정치적인 환경의 영향을 받지 않는다; Science is not influenced by cultural, social, and political environments.’으로 과학이 문화, 사회, 정치같이 다른 사회적 분야와 환경에 영향을 받는다는 사실을 이해하고 있는지를 묻는 질문이었으며 대부분의 참여 과학자들은 질문에 동의하지 않는다(28명-82%), 즉 과학이 문화, 사회, 정치의 영향을 받고 있다는 것을 이해한다고 대답했으며 일부(6명-17%) 과학자들은 영향을 받지 않는다고 응답하였다. 과학은 인간 활동의 한 영역으로 하나의 문화적 산물이라

고 할 수 있으며 사회에 영향을 미치기도 하지만 다양한 사회적 요인들에 의해 영향을 받는다(Lederman *et al.*, 2002). 특히 과학교육의 전문가들은 과학의 발달에 미치는 사회적 영향을 두 가지 종류로 구분하여 설명하면서 하나는 과학적 실험과 자료 수집 등에 영향을 미치는 과학 자체의 문화라고 하였고 다른 하나는 정치, 경제, 종교와 같이 과학이 행하여지는 과정에 영향을 미치는 사회적 요소들에 대한 영향이라고 하였다(Lederman *et al.*, 2002). 이와 같이 과학은 과학 활동 속에 내재된 자체의 문화뿐 아니라 여러 사회적 요인들에 의하여 발달하고 진화해 간다. 본 연구에 참여한 과학자들의 대다수도 다음과 같이 그 중요성을 인식하면서 동시에 사회적 영향으로 인한 본인들의 연구 상황을 설명하고 있었다.

“과학이 사회에 지대한 영향을 미치고 요즘처럼 기술과학 시대에 매우 중요한 역할을 하는 학문이지만 사회 속에서 일어나는 다른 학문들과 크게 다르지 않기 때문에 사회의 영향을 주고받는 것은 당연하다고 생각합니다.”(과학자 A)

“이 시대의 과학은 거의 항상 사회적 영향 속에서 진행되고 있다고 해도 과언이 아닙니다. 특히 요즘처럼 연구자금을 지원받아야 하는 현실에서는 정치적 및 경제적 영향을 너무 많이 받는다고 할 수 있어요. 그럴 수밖에 없는 상황이지만 그리 바람직한 현실이라고 할 수 없지요.”(과학자 B)

“영향을 너무 많이 받지요. 질병 치료와 같이 사람들이 원하는 문제에 대한 과학연구 요구나 정치적 및 경제적 영향으로 인한 연구의 지원 등과 같이 사실 너무 많이 영향을 받아서 문제라고 생각해요. 과학 연구에서 다양성이 보장되어야 다양한 분야의 연구와 발전이 유도될 수 있을텐데 이런 사회적 영향 때문에 한 분야나 영역에 연구가 집중되어서 문제라고 생각합니다.”(과학자 C)

“요즘에는 저처럼 여성 과학자들이 많고 그 활동도 왕성하지만 아직도 여전히 여성은 과학에서 약간 비껴난 인상이 듭니다. 특히 저는 어릴 때부터 과학을 좋아했지만 잘 알려진 여성 과학자들이 별로 없는 것을 보면서 여자는 과학을 하면 안되는 것인가 하는 생각을 했던 기억도 나요. 이제는 그런 상황이 과거의 사회적 문화적 영향 때문이었다는 것을 알고 있지만요.”(과학자 D)

위와 같이 과학자들은 과학이 인간 활동의 하나로 사회적 문화적 영향을 받는 것이 당연하지만 그것으로 인한 부정적 영향들을 지적하였다. 가장 중요하면서도 민감하게 인식하고 있는 부분으로 정책이나 사회적 영향으로 인한 연구비에 대한 문제로 많은 과학자들은 연구비 지원 한계로 겪는 활동의 어려움을 몸소 체험하고 있다고 말하였다. 또한 그로 인하여 과학에서의 다양한 분야의 발달이 저해되는 부작용을 큰 문제로 지적하면서 과학이 가능하면 사회나 정치적 영향을 받지 않아야 한다고 주장하였다. 이것은 앞선 선행연구에서도 유사하게 나타나는 지적으로 Bayir, Cakici, & Ertas (2014)는 약 60%의 연구 참여 과학자들이 과학의 사회적 문화적 영향을 인정하고 있었으나 약 30%의 과학자들은 과학이 사회와 문화의 영향을 받지 않아야 한다고 말하였다. 많은 과학자들이 현실적으로 과학이 사회와 문화의 영향을 받는 것은 인정하지만 과학의 발전을 위해서는 사회적 영향이 지양되어야 한다고 생각하는 모습을 보이고 있었다. 또한 면담에 참여한 여성 과학자는 문화와 사회적 배경으로 인한 여성 과학자들에 대한 사회 인식 부족 등과 같이 성차별과 관련된 사회 문화의 부정적 영향을 지적하고

있었다. 한편 과학의 사회적 및 문화적 영향에 대한 인식을 조사한 국내의 다른 선행연구에서는 예비교사들의 68%가 과학이 사회적 및 문화적 측면을 반영한다고 대답하였으나 28% 참여자는 과학이 보편적이라고 대답했으며(Kim, 2010), 또 다른 연구에서는 67%의 현직 과학교사들은 과학이 문화의 영향을 받으나 33%의 교사들은 영향을 받지 않는다고 응답(Cho & Ju, 1996)함으로 본 연구 결과와 비교했을 때, 과학교사나 예비교사들보다는 실제로 과학 활동에 종사하는 과학자들이 훨씬 이 측면의 과학의 본성을 실감하면서 이해하고 있는 것으로 나타났다.

다음의 STS 적인 과학의 본성에 대한 질문은 ‘과학과 그 방법은 사회의 모든 문제를 풀 수 있다; Science and its method can solve all problems in society.’으로 과학의 한계성을 이해하고 있는지를 묻는 질문이었으며 참여한 과학자들 중 31명(88%)이 동의하지 않는다고 함으로써 과학의 한계를 이해하고 있었으며 2명(6%)의 과학자는 동의한다고 하였고, 나머지 2명(6%)은 모른다고 하였다. 과학과 기술의 발달로 인류는 팔목상대할 발전과 혜택을 누리고 있지만 아직도 지구 상에는 과학과 기술의 혜택을 누리지 못하는 많은 사람들이 있으며 또한 여전히 많은 문제들, 예를 들면 정치, 경제, 종교, 윤리 등과 같은 주제들로 야기되는 사회문제는 과학으로 해결할 수 없다(Chiappetta & Koballa, 2004). 과학의 한계성을 이해하는 것은 인간 활동의 한 영역으로서의 과학을 이해하는 것이므로 학문적 가치로서의 과학의 본성만이 아닌 사회적 활동으로서의 과학 활동을 이해하는 것과 깊은 연관이 있다고 할 수 있다. 이와 같은 이유로 과학교육의 연구자들은 과학의 한계성에 대한 본성 측면을 강조하고 있다(AAAS, 1990; Akerson, Morrison, McDuffie, 2006; Chiappetta & Koballa, 2004; McComas, 2005). 다음은 면담에서 보여준 과학자들의 과학의 한계에 대한 다양한 인식이다.

“과학과 사회문제의 해결은 별개라고 생각합니다. 물론 과학의 역할이 생활의 질을 향상시키는 것에 있다고 생각하지만요.”(과학자 B)
 “정치적, 종교적 신념이나 인간의 가치관 관련 등의 많은 문제는 과학으로 해결할 수도 없고 과학으로 해결할 문제가 아니라고 봐요.”(과학자 C)
 “과학으로 풀 수 없는 세상의 문제는 없다고 생각합니다. 어떤 현상이든 결국 파고 들어보면 모두 과학으로 설명가능하고 결국 해결해 갈 수 있다고 봐요.”(과학자 A)

대다수의 과학자들은 과학의 한계성을 인정하면서 한편으로는 과학은 다른 학문들과 경계가 확연한 하나의 인간 활동 및 학문분야에 지나지 않음으로 모든 사회문제를 해결할 수도 또한 그럴 필요도 없다는 인식을 보여줬다. 그러나 다소 흥미롭게도 위의 진술된 마지막 면담자의 내용은 과학으로 모든 문제를 풀 수 있다고 생각하는 인식을 보였으며 이는 과학을 인간 활동의 하나의 영역으로 보기 보다는 세상을 해석하는 하나의 시각, 즉 철학과 같은 개념적 학문으로 해석하는 것으로 보였다. 이와 같은 과학의 본성에 대한 이해부족은 앞서 언급되어진 것처럼 과학자들이 학교 교육이나 직업 활동 과정에서 과학의 본성을 성찰해 보거나 학습할 기회가 거의 없었던 것이 가장 큰 원인으로 생각되며 또한 과학의 본성이 단지 과학적 활동을 하는 것만으로 저절로 인식되고 이해되는 영역이 아닌 학습과 성찰로 이해되어야

하는 영역이라는 것을 간접적으로 보여주고 있다.

마지막으로 과학의 본성을 묻는 질문은 ‘과학은 다른 학문 분야들과 협력한다; Science cooperate with other disciplines.’으로 협력적인 활동으로서의 과학과, 과학의 발달에 다양한 사람들의 공헌이 있음을 내포하는 과학의 본성으로 위 질문에 31명(88%)의 과학자들이 동의한다고 대답하였으나 3명(9%)의 과학자는 동의하지 않는다고, 그리고 나머지 1명(3%)은 모르겠다고 응답하였다. 과학의 발달에 있어서 다양한 학문과 다른 영역의 공헌과 협력은 과학교육의 많은 문헌에서 강조되고 있다(AAAS, 1990; Bartholomew, Osborne, & Ratcliffe, 2004; McComas, 2005). 본 연구에 참여한 많은 과학자들은 협동적 활동으로서의 과학이라는 과학의 본성을 비교적 잘 이해하고 있었고 다음과 같이 설명하고 있었다.

“현장에서의 과학은 하나의 프로젝트를 수행하기 위해서 정말 많은 수의 과학자들이 함께 작업하고 또 다른 분야의 전문가들에게도 크고 작은 도움을 받습니다. 결국 하나의 성취를 이루기 위해서는 수많은 사람들의 노력과 협동 작업이 이루어져야 하는데 어떤 면에서 그 결과에 대한 대가가 일부 특정 몇몇 사람들에게만 돌아가는 경우가 있는 듯해서 안타깝습니다.”(과학자 A)
 “옛날에는 달랐는지 모르지만 지금은 과학연구가 기술이나 다른 분야의 도움이 없이는 제대로 진행되지 않습니다. 따라서 다양한 분야의 협력이 중요한 것은 다른 사람들과 함께 일할 수 있는 능력이 없이는 제대로 연구를 수행할 수가 없기 때문이기도 합니다.”(과학자D)

이와 같이 과학자들은 본인들이 몸소 체험하고 있는 실험실의 현장과 연구 진행의 과정에서 다양한 분야의 협동 작업의 중요성을 피부로 느끼고 있다고 보였다. 이것은 대학생들의 과학에 대한 이해 조사에서 과학의 발달에 일부 문화와 민족만이 특별히 공헌했다고 이해하는 선행연구(Park & Lee, 2005)와는 대조를 이루는 것으로 대학생들이 과학의 속성을 실험실의 범주에 제한하여 사고하는 것(Park & Lee, 2005)에 반하여 현장에서 활동하는 과학자들은 실제적 활동 차원에서 과학의 속성을 잘 체험함으로써 이해한 결과라고 보인다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 과학교육에서 주요한 교육 목표의 하나인 과학의 본성에 대한 이해를 실제 현장에서 과학 활동을 하는 과학자들은 어떻게 이해하고 있으며 또한 어떤 구체적 인식을 가지고 있는지를 조사하기 위하여 재미한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 과학자 35명을 대상으로 조사하였다. 과학적 소양을 기반으로 한 4가지 영역의 과학의 본성을 바탕으로 한 분석 결과에서 얻은 결론은 다음과 같다. 우리나라 재미 과학자들은 과학교육에서 제시된 다양한 과학의 본성 측면 중에서 과학 지식의 잠정성 및 가변성, 과학의 다양한 사회적 영향, 과학의 한계성, 그리고 과학 활동의 협력성 등의 과학의 본성은 비교적 잘 이해하고 있었으나 반면 다양한 과학지식의 차이(이론과 법칙의 구별), 과학 탐구의 다양성, 그리고 상상력 및 창의력의 중요성에 대해서는 이해가 부족한 모습을 보여 주었다. 다시 말하자면 과학자들이 일부 측면의 과학의 본성에

대해서는 과학교육에서 제시하는 의견과 일치하고 있었으나 일부 측면에서는 다른 견해를 보여주고 있었다. 이것은 Wong & Hodson (2008)과 Bayir, Cakici, & Ertas (2014) 등의 선행연구에서 외국의 과학자들이 일부 과학적 본성 측면에서는 잘 아는(informed) 인식을 보이나 일부 측면에서는 미숙한(naive) 인식을 보이고 있다고 한 선행 연구들과 유사함으로 국내 과학자들도 외국의 과학자들과 마찬가지로 일부 측면에서는 미숙한 과학의 본성에 대한 이해를 갖고 있었다. 이에 대한 원인으로는 결과에서 언급되어진 것처럼 많은 과학자들이 학교 과학 교육과정이나 연구 활동에서 과학의 본성에 대한 깊은 성찰이나 학습의 기회가 없었기 때문인 것으로 유추된다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014; Kang, Scharmann, & Noh, 2005; Liu & Lederman, 2007; Wong & Hodson, 2008). 또한 과학자들의 과학의 본성에 대한 이해는 과학교사들이나 예비교사들을 대상으로 한 과학의 본성 견해에 대한 선행 연구들과 비교했을 때 많은 부분에서 유사한 결과를 보여주고 있었다 (Abd-El-Khalick & Boujaude, 1997; Lederman, 1992; Nam *et al.*, 2007).

그리고 참여 과학자들이 보여준 과학의 본성에 대한 인식을 본 연구의 개념적 바탕인 4가지 영역의 개념 틀: 1. Nature of Scientific Knowledge, 2. Nature of Scientific Inquiry, 3. Nature of Scientific Thinking, 그리고 4. Nature of interactions among science, technology, and society (STS)로 보았을 때는 4가지 영역 중에서 재미 과학자들은 네 번째 영역인 STS적인 과학의 본성에 대한 모든 질문들에서는 약 90% 정도의 과학의 본성 내용과 일치율 보임으로 과학교육에서 제시하는 과학의 본성에 대한 높은 이해를 나타내고 있으나 과학적 탐구의 본성 중에서는 3가지 문항 중 2가지 문항에서 50% 이하의 일치율을 나타내면서 비교적 낮은 이해도를 보여주고 있었다. 이것은 참여 과학자들이 모두 현직에서 활동 중인 과학자들로 과학을 업무로써 인식하면서 STS적인 과학의 본성을 몸소 체험함으로써 내면화하게 되어 이 영역에 대한 높은 이해도를 보이고 있다고 생각된다. 그러나 탐구 방법에 대한 과학의 본성은 탐구의 다양성보다는 ‘과학적’이라는 정의가 실험에 의해 증명된 결과라는 고정관념을 갖고 있는 것으로 관찰되면서 탐구방법에 대해 한계를 보여주고 있었다. 이것은 외국의 선행연구에서도 확연히 드러난 분석으로 과학자들이 가장 제한적인 과학의 본성의 견해를 보여주는 영역 이었다(Schwartz & Lederman, 2008; Wong & Hodson, 2008; Bayir, Cakici, & Ertas, 2014). 이와 같이 과학자들이 과학 활동을 하고 있는 것만으로 적절한 과학의 본성에 대한 이해를 갖는다고는 보장할 수 없으며(Behnke, 1961; Pomeroy, 1993; Schwartz & Lederman, 2008) 그 원인으로는 과학자들이 그들의 과학 활동을 철학적인 차원으로 충분히 성찰할 수는 없기 때문이다(Bayir, Cakici, & Ertas, 2014). 또한 학교 과학 교육과정에서 매우 제한적인 과학의 본성에 대한 학습을 하였기 때문이라고 판단된다(Nam *et al.*, 2007; Rudolph, 2000; Reiff, 2004), 구체적으로 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식이 어디에서 왔는지에 대한 연구는 보다 심도 있는 후속연구가 진행되어야 할 것이라고 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 참여 과학자들이 현재 미국에서 활동하고 있는 재미한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 과학자들 35명을 대상으로 대부분이 의료 및 생명과학 분야의 연구에 종사하고 있는 과학자들이므로 우리나라 과학자들 전체로 일반화할 수 없다. 따라서 앞으로 후속 연구

로써 국내외의 다양한 분야의 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식과 함께 사회 과학자 및 자연 과학자들과 같이 성격이 다른 분야에 종사하는 과학자들의 인식을 비교 분석하여 보다 통합적인 과학자들의 과학의 본성 개념을 파악할 필요가 있다. 또한 본 연구는 과학의 본성에 대한 보편적 내용을 바탕으로 한 참여자들의 설문 조사로 명시적으로 보여주는 개념의 파악과 함께 실제 과학자들이 갖고 있는 내재된 인식을 구체적으로 보려고 일부 과학자들의 면담을 통한 자료 수집을 하였다. 그러나 연구 결과의 해석에서 파악되는 것처럼 과학자들은 그들의 개념을 스스로 정확하게 인지하지 못하고 개념의 혼돈을 갖고 있는 모습을 보임으로 과학자들의 과학의 본성 개념의 형성의 구체적 원인과 인식 형성의 근원을 파악하지 못하는 한계를 보이고 있다. 따라서 과학자들의 과학의 본성에 대한 인식을 보다 구체적으로 탐구하기 위해서는 심화된 면담이나 관찰, 그리고 연구 대상자들의 배경을 조사하는 방법 등 다양한 방식을 통해 그들의 인식이 어디에서 왔는지에 대한 자료와 경험을 심도 있게 수집함으로써 인식의 형성 과정을 연구해야 할 것이다.

우리 과학자들은 지난 수십 년간 실행되어온 우리나라 과학교육 발전의 성과이며 자랑이다. 많은 과학자들이 국내뿐 아니라 세계 유수의 기관과 학교에서 핵심적인 역할을 수행하면서 인류의 과학기술 발전에 공헌하고 있으며 연구뿐 아니라 다양한 분야의 정책 결정자이며 수행자 역할을 하면서 사회의 지도자로 활약하고 있다. 이처럼 우리나라 과학교육의 결과인 과학자들이 과학의 본성을 어떻게 인식하고 있는지를 파악하는 것은 우리 과학교육의 성찰이며 앞으로 과학자들과 과학교육자들이 효과적인 상호 협력을 통하여 과학교육의 개선 및 발전 방향을 제시하는데 본 자료가 도움 되기를 희망한다.

국문요약

과학의 본성(Nature of Science)에 대한 이해는 오랜 시간동안 과학 교육학계의 가장 중요한 연구 주제중의 하나가 되어 왔다. 지난 20여 년간 과학교육에서 과학의 본성이 가지는 중요성에 의해 다양한 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 실제로 현장에서 과학 활동을 하고 있는 과학자들이 어떻게 과학의 본성을 인식하고 있는지에 대한 연구는 거의 없었다(Taylor *et al.*, 2008; Wong & Hudson, 2008; Bayir *et al.*, 2014). 최근에 들어서 과학교육 연구자들은 과학교육에서 과학자들의 긍정적 영향과 참여의 중요성을 인식하면서 과학자들의 과학의 본성에 대한 개념을 알아야 할 필요성을 말하고 있다(Southerland *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2008). 이와 같은 필요성을 바탕으로 본 연구는 과학교육계에서 널리 인식된 과학의 본성 주요 측면이 실제 현장에서 과학 활동을 하는 과학자들에 의해서는 어떻게 인식되고 있는지를 조사하기 위하여 미국에서 활동하고 있는 재미한국 과학기술자협회(KSEA: Korean-American Scientists and Engineers Association) 소속의 과학자들 35명의 과학의 본성에 대한 견해를 조사하였다. 과학자들의 과학의 본성에 대한 견해는 과학적 소양에 근거한 4가지 영역의 과학의 본성 틀(Lee, 2013)을 기반으로 개방형 질문을 통한 설문지 작성 형식으로 이루어졌으며 전체 참여 과학자들의 설문 후 지원한 4명의 과학자를 심층 면담하였다.

연구 결과는 과학자들은 대부분의 영역에서 과학 교육에서 제시된 과학의 본성과 일치되는 견해를 갖고 있었으나 몇 가지 영역에서는

상반되는 견해를 보이는 것으로 분석되었다. 구체적으로 우리나라 과학자들은 과학교육에서 제시된 다양한 과학의 본성 측면 중에서 과학 지식의 잠정성 및 가변성, 과학의 다양한 사회적 영향, 과학의 한계성, 그리고 과학 활동의 협력성 등의 과학의 본성은 비교적 잘 이해하고 있었으나 반면 다양한 과학지식의 차이, 과학 탐구의 다양성, 그리고 상상력 및 창의력의 중요성에 대해서는 이해가 부족한 모습을 보여 주었다. 4가지 영역의 과학의 본성측면으로는 1. 과학 지식에 대한 본성에서는 약 60% 이상의 설문 참여 과학자들이 과학적 이론이 더 많은 증거로 뒷받침되면 과학적 법칙이 될 수 있다고 말하였으며 2. 과학의 탐구적 본성에서는 약 60%이상의 과학자들이 과학의 탐구 방법을 몇 가지 단계를 거치는 실험과정에 국한하는 매우 제한된 과학의 본성을 보여 주었다. 또한 3. 과학적 사고의 본성에서는 약 50% 과학자들이 과학 활동에 있어서 상상력에 의존하지 않는다고 견해를 보여주었다. 그러나 대부분의 과학자들은 4. STS적인 과학의 본성(Theme IV) 측면에서는 과학교육에서 제시하는 과학의 본성 견해와 높은 일치률(약 90%)로 같은 견해를 갖고 있음을 보여 주고 있다. 이것은 과학자들이 현장에서 과학 활동만으로 철학적 반성을 통한 모든 과학의 본성을 이해하기는 어렵지만(Bayir *et al.*, 2014) 사회 속에서 직업 활동으로써 체험한 STS적인 과학의 본성 측면은 내면화한 것으로 판단된다.

주제어 : 과학의 본성, 과학자들의 과학의 본성, 과학자들의 인식, 과학자와 과학교육

References

- Abd-El-Khalic, F. (2005). Developing deeper understandings of nature of science: The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning. *International Journal of Science Education*, 27(1), 15-42.
- Abd-El-Khalic, F. (2006). Over and over again: College students' views of nature of science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 389-425). Dordrecht: Springer.
- Abd-El-Khalic, F. S., & Akerson, V. L. (2004). Learning as conceptual change: Factors mediating the development of preservice elementary teachers' views of nature of science. *Science Education*, 88(5), 785-810.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). NOS and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- Abd-El-Khalick, F., & Boujaoude, S. (1997). An exploratory study of the knowledge base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(7), 673-699.
- Abell, S., Martini, M., & George, M. (2001). 'That's what scientists have to do': Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science during a moon investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(11), 1095-1109.
- Aguirre, J. M., Haggerty, S. M., & Linder, C. J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning: A case study in preservice science education. *International Journal of Science education*, 12(4), 381-390.
- Akerson, V. L., Buzzelli, C., & Donnelly, L. A. (2010). On the nature of teaching nature of science: Preservice early childhood teachers' instruction in preschool and elementary settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 213-233.
- Ackerson, V. L., Morrison, J. A., & McDuffie, A. R. (2006). One course is not enough: Preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 194-213.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). *Benchmarks for scientific literacy*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1990). *Science for all Americans*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bayir, E., Cakici, Y., & Ertas, O. (2014). Exploring natural and social scientists' views of nature of science. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1286-1312.
- Bang, M., & Kim, H. (2010). The effects of explicit instruction about nature of science by elementary school student's cognitive level. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(3), 277-291.
- Bartholomew, H., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (2004). Teaching pupils "ideas-about-science": Five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88, 655-682.
- Behnke, F. L. (1961). Reactions of scientists and science teachers to statements bearing on certain aspects of science and science teaching. *School Science and Mathematics*, 61, 193-207.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high-school students' understanding of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(3), 487-509.
- Cakici, Y., & Bayir, E. (2012). Developing children's views of the nature of science through the role play? *International Journal of Science Education*, 34(7), 1075-1091.
- Chiappetta, E. L., & Fillman, D. A. (2005). Analysis of five high school biology textbooks used in the United States for inclusion of the nature of science. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching meeting. Dallas, TX.
- Chiappetta, E. L., Sethna, G. H., & Fillman, D. A. (1991). A qualitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literacy themes and expository learning aids. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 936-951.
- Chiappetta, E. L., Fillman, D. A., & Sethna, G. H. (1991). A method to quantify major themes of scientific literacy in science textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 713-725.
- Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. (2004). Quizzing students on the myths of science. *The Science Teacher*, Nov, 58-61.
- Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. (2010). *Science instruction in the middle and secondary schools*, 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.
- Cho, J., & Ju, D. (1996). Perceptions of science teachers about the nature of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 16(2), 200-209.
- Choi, J., Nam, J., Ko, M., & Ko, M. (2009). Developing middle school students' understanding of the nature of science through history of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(2), 221-239.
- Coburn, W. W., & Loving, C. C. (2002). Investigation of preservice elementary teachers' thinking about science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 1016-1-31.
- Collette, A., & Chiappetta, L. E. (1984). *Science instruction in the middle and secondary schools*. St. Louis, MO: Times Millor/Mosby.
- Duschl, R. (2000). Making the nature of science explicit. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 187-206). Philadelphia, PA: Open University Press.
- Fedock, P., Zambo, R., & Coburn, W. (1996). The professional development of college science professors as science teacher educators. *Science Education*, 80(1), 5-19.
- Ford, M. J., & Wargo, B. M. (2007). Routines, roles, and responsibilities for aligning scientific and classroom practices. *Science Education*, 91(1), 133-157.
- 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.
- Jeanpierre, B., Oberhauser, K., & Freeman, C. (2005). Characteristics of professional development that effect change in secondary science teachers' classroom practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 668-690.

- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. (2005). Examining students' views on the nature of science: results from Korean 6th, 8th, and 10th graders. *Science Education*, 89, 314-334.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). The influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Kim, H., Choi, S., Hwang, H., Lee, J., Kim, S., & Lee, M. (2006). An analysis of middle school science textbooks based on scientific literacy. *Journal of Korean Science Education*, 26(4), 601-609.
- Kim, J., Jeon, R., & Paik, S. (2007). The analysis of the nature of science views of science textbook, science teacher, and high school students. *Journal of Korean Science Education*, 27(9), 809-817.
- Kim, J., Min, B., Lee, Y., Son, Y., Kim, D., & Kim, T. (2013). Comparative analysis of the nature of science reflected on the elementary school science textbooks of Korea, Japan, and the U.S. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 17(2), 619-644.
- Kim, S. Y. (2010). Exploring preservice science teachers' views of the nature of science: biology vs. non-biology teachers. *Journal of the Korean Science Education*, 30(2), 206-217.
- Kim, H. J., & Kim, S. W. (2013). The characteristics of perceptual change of high school of the arts students through explicit instructions on the nature of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 266-283.
- Kim, S. Y., & Park, H. J. (2013). College students' understanding of nature of science: discipline and gender difference. *Korean Association for Learner-centered Curriculum and Instruction*, 13(6), 239-256.
- Kim, M., Nam, I., & Kwon, S. (2010). The relation of elementary school teachers' point of views about the organization of science curriculum and the nature of science. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(3), 243-251.
- Kim, J., Kim, S., Kim, D., Kim, H., & Paik, S. (2008). Analysis of explicitly instructional effects about nature of science of elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(3), 261-272.
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916-929.
- 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., 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.
- Lee, E. A., & Choi, S. H. (2002). Pre-service teachers' conceptions of the nature of science. *Journal of Korean Earth Science Society*, 23(2), 140-146.
- Lee, Y. H. (2007). How do the high school biology textbooks introduce the nature of science? (Doctoral dissertation). Houston, TX: University of Houston.
- Lee, Y. H. (2014). Comparative analysis of the presentation of the nature of science (NOS) in Korean and US elementary science textbooks. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(3), 207-212.
- Lee, Y. H. (2013a). A proposal of inclusive framework of the nature of science (NOS) based on the 4 themes of scientific literacy for K-12 school science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(3), 553-569.
- Lee, Y. H. (2013b). Nature of science (NOS) presentation in the introductory chapters of Korean high school life science I textbooks using a qualitative content analysis. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 17(1), 173-197.
- Lee, Y., & Chiappetta, E. (2008). How do the high school biology textbooks introduce the nature of science? Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching meeting, Garden Grove, CA.
- Lee, Y., Son, Y., & Kim, K. (2014). Analysis of the presentation for the nature of science in elementary science textbooks using the four themes of scientific literacy. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(2), 207-216.
- Lim, C., Kim, H., & Lee, S. (2004). Preservice and inservice teachers' perceptipon on the nature of science. *Journal o Korean Elementary Science Education*, 23(4), 294-304.
- Liu, S. Y., & Lederman, N. G. (2007). Exploring prospective teachers' worldviews and conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, 29, 1281-1307.
- McComas, W. F. (2005). Seeking NOS standards: What content consensus exists in popular books on the nature of science? Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching meeting, Dallas, TX.
- McComas W. F. (1998). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. (pp. 53-70). Dordrecht: Kluwer.
- McDonald, C. V. (2010). The influence of explicit nature of science and argumentation instruction on preservice teachers' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 1137-1164.
- Ministry of Education, Science and Technology (MEST). (2012). *Science education standards*. Seoul: Ministry of Education and Science Technology.
- Nam, J., Mayer, V.J., Choi, J., & Lim, J. (2007). Pre-service science teacher's understanding of the nature of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(3), 253-262.
- National Research Council (NRC). (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2000). *How people learn. Bridging research and practice*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2012). *A framework for K-12 science education*. Washington, 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.
- 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.
- Park, E., & Hong, H. K. (2011). Analyzing science-gifted middle school students' understanding of nature of science (NOS). *The Korean Society for the Gifted and Talented*, 21(2), 391-405.
- Park, H., & Lee, K. (2005). University students' understanding of the nature of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(3), 390-399.
- Park, K. S., & Yu, M. H. (2013). The effects of 'science history based chemist inquiry program' on the understanding toward nature of science, scientific attitudes, and science career orientation of scientifically gifted high school students. *The Korean Chemical Society*, 57(6), 821-829.
- Parker, L. C., Krockover, G. H., Lasher-Trapp, S., & Eichinger, D. C. (2008). Ideas about the nature of science held by undergraduate atmospheric science students. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 1681-1688.
- 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), 261-273.
- Reiff, R. (2004). The methods of science: Exchanging myth for authenticity. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (Rev. ed). Great Britain: Kluwer Academic Publishers.
- Rudolph, J. L. (2000). Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 559-580.
- Samarapungavan, A., Westby, E. L., & Bodner, G. M. (2006). Contextual

- epistemic development in science: A comparison of chemistry students and research chemists. *Science Education*, 90, 468-495.
- Schwartz, R., & Lederman, N. (2002). "It's the nature of the beast": The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 205-236.
- Schwartz, R., & Lederman, N. (2008). What scientists say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727-771.
- Seo, H., Hwang, J., & Kwak, D. (2010). An analysis of scientific literacy covered in the testing items on the biology section of the scholastic achievement test. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 14(3), 601-620.
- Sotherland, S., Gess-Newsome, J., & Johnston, A. (2003). Portraying science in the classroom: The manifestation of scientists' beliefs in classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 669-691.
- Taylor, A. R., Jones, M. G., Broadwell, B., & Oppewal, T. (2008). Creativity, inquiry, or accountability? Scientists' and teachers' perceptions of science education. *Science Education*, 92, 1058-1075.
- Tsai, C. (2006). Teachers' scientific epistemological views: The coherence with instruction and students' views. *Science Education*, 91(2), 222-243.
- Varelas, M., House, R., & Wenzel, S. (2005). Beginning teachers immersed into science: Scientist and science teacher identities. *Science Education*, 89(3), 492-516.
- Walker, K. A., & Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387-1410.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2008). From the horse's mouth: what scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93(1), 109-130.
- Yang, I., Han, K., Choi, H., Oh, C., & Cho, H. (2005a). Beginning elementary teachers' beliefs about the nature of science. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 24(2), 360-379.
- Yang, I., Han, K., Choi, H., Oh, C., & Cho, H. (2005b). Investigation of the relationships between beginning elementary teachers' beliefs about the nature of science, and science teaching and learning context. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 24(4), 399-416.