



## 과학자의 문제 해결 과정에서 탐색된 과학 공감

양희선, 강성주\*  
한국교원대학교

### Scientific Empathy Discovered in Scientists' Problem-Solving Process

Heesun Yang, Seong-Joo Kang\*  
Korea National University of Education

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 16 February 2019

Received in revised form

25 February 2019

14 March 2019

Accepted 25 March 2019

##### Keywords:

Scientific empathy, Problem Solving Process, Case study of scientists' problem-solving, Explore empathy elements

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to extract empathy factor in scientists' problem-solving process and to examine how the empathy factor influences scientists' problem-solving situation. In this study, we selected six common persons among the scientists mentioned by creativity researchers. And through their autobiographies and biographies, we extracted elements of empathy from their case of problem-solving and categorized them. We analyzed cases from 12 books and 50 papers using Davis' empathy scale as an analysis framework and extracted common factors. As a result, the scientific empathy elements were extracted from a total of 182 cases, and 33 common elements were found. The validity of this case was verified through the content validity test of the science education specialist group. As a result, the I-CVI average was .86 and the S-CVI average was .90. For the empathy elements that scientists used in problem-solving cases, in cognitive empathy, three elements (empathy through other disciplines, empathy from the perspective of the research object, accommodating others' opinions) were extracted in terms of perspective-taking, and three elements (imagination thought experiment based on observation, thought experiment, feeling like part of object) in fantasy. And in affective empathy, three elements (influenced by fellow researchers' motivation, touching from the subject, excitement studying more) were extracted in terms of empathic concern and two elements (heartache for others' failure in their research, sensitivity to problems) in personal depression. This could not be said to be a perfect match for Davis' empathy, but it would be possible to define the scientific empathy elements based on these common elements found in the scientists' cases.

## 1. 서론

“오직 직관만이 **공감(sympathetic understanding)**을 통하여 통찰력으로 이어질 수 있다. 연구의 성과는 면밀한 의도나 계획에서 오는 게 아니라 가슴으로부터 바로 나온다.”(R. Root-Bernstein & M. Root-Bernstein, 2007, p. 29).

물리학자 아인슈타인은 문제 해결 과정에서 직관을 활용하기 위해 공감이 중요하다고 다음과 같이 이야기하였다. 위의 언급처럼, 아인슈타인은 연구의 성과가 머리로 계산된 것이 아닌 가슴으로 이뤄진다고 보았으며 이때 통찰력을 얻기 위한 수단으로 공감을 제시하였다(Miller, 2000). 과학적 문제 해결을 위해서는 이성적이며 합리적인 사고뿐만 아니라 창의적 사고 또한 중요한데 이 때 공감은 논리적 사고와 직관적 사고의 연결 고리이자 창의적 문제 해결을 돕는 기제로서(Rifkin, 2009), 그 필요성이 최근의 여러 연구에서도 확인할 수 있다.

공감은 타인의 감정과 상황에 대한 인지적·정서적 반응으로서(Davis, 1980; Hoffman, 1984), 최근 4차 산업혁명의 도래에 따른 비인간화문제에 대한 우려를 인문학적 관점에서 해결할 수 있는 기제로서 언급되었다(Krznicaric, 2014; Priscearu, 2016; Frey & Osborne, 2013).

공감은 협력적 문제 해결을 위하여 모든 구성원들 간의 목표를 공유하게 하고, 서로에 대한 이해와 신뢰를 높이며, 서로 다른 배경이나 재능을 가진 구성원들에 대한 연결까지도 지원하고 촉진시켜 줄 수 있는 유용한 방법으로 보고되고 있다(Kim, C. et al., 2012; Martin, 2010; Park, J., 2010). 그리고 협력적 상호작용은 집단 구성원들이 서로 간에 차이점에 대해 적극적으로 이해하고 받아들이는 것에서부터 시작되는데(Egan, 1990), 이러한 의미 있는 의사소통에서 가장 필수 핵심 요소는 공감이다(Eisenberg & Miller, 1987). 또한 창의적인 문제 해결 방법으로 제시되고 있는 디자인적 사고(Design Thinking, Martin, 2010)에서도 집단 창의성 발현의 원천으로 대인 관계에서 타인의 감성과 다양성을 존중하며 서로의 문제를 자신의 문제로 받아들일 수 있는 능력으로서 공감을 강조한다(Sawyer, 2007). 공감에 대한 교육적 필요성은 2015 및 2018 PISA의 하위요소에 제시된 평가요소를 통해서도 확인할 수 있다(OECD, 2013, 2016). 하지만 이러한 언급들은 공감이 현대사회의 문제를 창의적으로 해결하는 구체적인 방법에 대하여 설명하지 못하였다. 특히 지금까지 공감에 대한 선행 연구는 상담, 심리치료 분야가 주로 다루어졌을 뿐이다(Park, S., 2004). 공감이라는 요소가 교육적으로 문제 해결을 돕는 요소로 활용되기 위해서는 교육내용과 공감을 연계하는 연구가 필요할 것이다. 이에 최근에는 특정 교과와 공감을 연계하는 논문 사례가 나타나고

\* 교신저자 : 강성주 (sjkang@knue.ac.kr)  
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.2.249>

있지만 주로 문학, 사회, 미술 교과에 치우쳐 있으며(Lee, J. *et al.*, 2014) 이조차도 매우 미비한 실정이다.

과학은 문제 해결에 대한 연구를 하는 데 있어서 적합한 분야라고 할 수 있다. 왜냐하면, 과학에서는 타 분야에 비해 문제 해결에 대한 중요성이 보편적으로 인식되고 있으며, 문제 발견과 형성 및 그 해결이 객관적으로 평가 될 수 있기 때문이다(Hanson, 1958). 하지만 과학 교과와 공감을 연계하는 사례는 찾기 어려우며 이와 관련된 구체적인 연구는 거의 이루어지지 않고 있다(Chun *et al.*, 2018). 하지만 최근에는 과학교육에 대한 연구의 영역이 확장되어 심리학적 구인이 주요 연구과제로 부각됨에 따라(Lim, 2005), 현대 과학교육에서 중요시되고 있는 과학탐구의 핵심 구인들과 공감의 관계를 확인할 수 있을 것이다. 과학교육의 핵심인 과학적 탐구(NRC, 1996, 2011)는 과학을 수행하는 방법으로 지식 자체가 아니라 지식을 얻는 과정이나 방법, 활동으로 표현되며, 문제 해결, 발견, 반성적 사고의 과정을 포함한다(Lemke, 1995). 이러한 과학적 탐구과정에서 감정은 중요한 역할을 하며(e.g., Roth, 2007), 최근 탐구는 사회성과 인성까지도 강조하고 있다(Driver *et al.*, 1994; Jimenez-Aleixandre *et al.*, 2000; Lemke, 1995; Newton & Wells, 1999; NRC, 1996, 2011; Zembal-Saul *et al.*, 2002). 하지만 지금까지의 과학 교육에서 학생의 선지식이나 지식의 구조와 같은 인지적 영역에 대한 연구가 깊이 있게 지속되었던 것에 비하여, 과학학습 상황에서 학생들의 사회적 측면과 인지적이며 정서적인 구인에 대한 연구는 아직 다양하게 확장되지 못하였다. 이에 과학적 탐구를 수행하는 과정 속에 나타나는 공감에 대하여 연구한다면, 이는 인지적 정서적 측면 및 사회적 협의 과정에서 학생들의 문제 해결을 돕기 위한 전략으로 활용 가능할 것이다.

현대 과학 교육의 목표는 과학에 대하여 의사소통 할 수 있고, 문제를 과학적으로 해결하며, 과학적으로 의사결정을 할 수 있는 과학적 소양을 함양하는 것이다(NRC, 1996). 이러한 과학적 소양은 과학자들이 하는 일에 관한 과학적 본성으로 과학자들이 공동 연구를 하고 협력하는 과정이 포함된다(Ryan & Aikenhead, 1992). 이에 과학교육에서는 과학자들이 문제 해결하는 과정에 대한 연구가 다수 수행되었다. 이를 분석한 연구에는 4명의 창의적과학자들의 사고과정을 문헌 고찰을 통해 모형으로 제시한 연구(Mansfield & Busse, 1981)와 과학자들의 지식생성과정에 초점을 맞추어 과학자의 사고과정을 도출한 연구들이 있었다(Dunbar, 2000; Keyves, 1997; Lawson, 2002; Yang *et al.*, 2006). 이 연구들의 공통점은 과학자들의 문제 해결과정이 선형적이지 않고 순환적이며 반복적으로 이루어진다는 중요한 사실을 밝혔지만(Lawson, 2002; Yang *et al.*, 2006), 논리적 사고과정에 중점을 두어 그 과정상에서 과학자들의 다른 측면에 대한 부분을 드러내지 못하였다. 과학적 문제 해결 상황에서는 과학자들은 이성적이며 합리적인 사고만이 필요한 것이 아니라 직관적인 사고를 통해 사고를 확장시킬 수 있어야한다(Marton *et al.*, 1994; Polanyi, 1958). 또한 문제 해결 과정에 지속적으로 참여할 수 있게 도와주는 정서적인 측면도 고려해야할 것이다(Jaber & Hammer, 2016). 특히 뇌과학연구에서 과학자들의 경우, 인지적 판단이 포함된 다양한 감정들이 인지적 평가가 이뤄지는 뇌의 부분과 같은 지역에서 활성화되는 것이 확인되었다(Turner, 2009). 결국, 과학자들의 문제 해결과정에서 인지적 측면과 정서적 측면에 대한 균형 있는 연구가 시도 되어야 하며, 이 둘 사이의 간극을 극복할 방법에 대한 고찰이 필요할 것이다.

공감은 이러한 측면에서도 매우 유용한 과학적 문제 해결 기제라고 할 수 있다. 공감이라는 구성개념의 정확한 정의에 대하여 학자들 간의 합의는 아직 없으나 인지적 공감과 정서적 공감이라는 서로 다른 요소가 복합적으로 존재한다는 점에 대해서는 의견 일치가 나타나고 있다(Davis, 1980; Hoffman, 1984). ‘인지적 공감’에 대하여 Howe(2012)는 타인의 입장에서 상황을 바라보고, 상상하고, 사고하는 것으로 사실에 대한 분명한 인식에 더 중점을 두는 인지적인 수고의 과정이라고 하였다. 이에 비하여 ‘정서적 공감’은 타인의 마음 상태를 구체화하는 시뮬레이션(simulation) 과정이 더 많이 관여된다고 하였다(Shamay-Tsoory *et al.*, 2009). 즉, 공감의 인지적 측면이나 정서적 측면 모두, 공통적으로 공감자가 문제 상황에 대하여 보다 깊이 인식하기 위하여 인지적으로나 정서적으로 몰입하고 있음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 과학자들의 문제 해결과정에서 과학자들의 사고는 논리적 사고와 직관적 사고가 유연하게 연결되면서 확장 가능해야 하기 때문에, 이러한 극명한 차이를 보이는 두 사고과정을 연결해주는 요소가 필요하며 정서적 측면의 특성을 반영할 수 있어야 할 것이다. 결국, 인지적이며 정서적 복합기제로서의 공감이 과학자들의 문제 해결 과정에서 매개체로서 활용될 것이다.

따라서 창의적이라고 인정받던 과학자들의 문제 해결사례를 분석하여 그들의 공감요소를 추출하고 이를 분석하여 학생들에게 적용할 방법을 찾는 것은 과학 교육적인 측면에서 매우 중요한 의미가 있을 것이다. 이에 본 연구는 과학자들이 문제 해결 과정에서 공감을 인지적이며 정서적인 전략으로서 어떻게 활용하고 있는지에 대하여 분석하고자 한다. 이를 위하여 아래와 같은 연구문제를 선정하였다.

1. 과학자들의 문제 해결 과정에서 공감의 인지적 정서적 요소가 구체적으로 어떠한 사례로 나타나는가?
2. 추출된 사례 속에서 어떠한 공통 요소가 있으며 이를 뒷받침하는 하위 요인에는 어떠한 것들이 있는가?
3. 추출된 과학자들의 공감요소들은 일반적인 공감요소와 다른 어떠한 새로운 특성으로 나타나는가?

## II. 연구 방법

과학자들의 문제 해결과정을 연구하는 방법에는 과학자의 과학적 사고 과정을 장기간에 걸쳐 관찰하는 방법(Observations of Ongoing Discovery), 과학자의 저술을 분석하는 역사적 기술(Historical Accounts) 방법, 통제된 조건 하에서 실험을 설계한 상황에서 문제 해결과정을 관찰 하는 실험실 연구(Laboratory Studies), 과학자의 발견 과정을 컴퓨터 모델로 나타내는 방법 등이 있다(Klahr & Simon, 1999). 이 연구에서는 역사적 기술 방법을 이용하여 과학 교육과정에서 창의적인 성과를 낸 의미 있는 과학자 6명과 관련한 문헌을 조사하고, 그들의 문제 해결 과정에서 나타난 공감요소에 대해 알아보하고자 하였다.

### 1. 연구대상 과학자 선정

본 연구에서는 다음의 준거에 근거하여 창의적 과학자를 선정하였다. 첫째, 연구 결과물 및 관련 문헌이 풍부해야 한다. 둘째, 물리, 화학, 생명과학, 지구과학의 영역에서 선정한다. 셋째, 17세기 초기

Table 1. The Criteria for selecting scientists

분야	과학자(활동시기)	김영민, 서혜애, 박중석 (2013)	Cox (1983)	Kuhn (1962)	Mansfield, Busse (1981)	Miller (2000)
물리학 지구과학	갈릴레이 (G. Galilei):1564-1642	✓	✓	✓		
	케플러(J. Kepler):1572-1630	✓			✓	
	아인슈타인(A. Einstein): 1879-1955			✓	✓	✓
화학 생명과학	라부아지에(A. Lavoisier): 1743-1794	✓		✓		
	다윈(C. Darwin): 1809-1882		✓	✓	✓	
	왓슨(J. Watson): 1928-	✓		✓	✓	

Table 2. Interpersonal Reactivity Index (Davis, 1980)

영역	하위 요소	내용
인지적 공감	관점 취하기 (Perspective-taking: PT)	다른 사람의 입장 또는 관점을 취해보려는 경향
	상상하기 (Fantasy: FN)	허구적인 상황 속에서 느낌을 상상해보는 경향
정서적 공감	공감적 관심 (Empathic concern: EC)	타자 지향적인 동정을 느끼고 불행한 타인에 대해 관심을 갖는 경향
	개인적 각성 (Personal distress: PD)	다른 사람이 겪는 고통스런 상황이나 불안을 보고 본인 역시 고통과 불안을 느끼는 정도

근대과학 이후의 과학자 가운데 패러다임 전환 시기의 과학자이거나 노벨상수상이력이 있는 과학자로 선정한다. 이에 Kuhn(1962)이 언급한 패러다임 전환기의 과학자 및 Mansfield와 Busse(1981) 및 그 밖에 창의성 연구자들이 언급한 창의적 과학자 중, 공통적으로 등장하는 과학자들로 선정하였다(Table 1).

이렇게 하여 선정된 과학자는 다음과 같다. 물리학과 지구과학의 갈릴레이(G. Galilei), 케플러(J. Kepler), 아인슈타인(A. Einstein)을 선정하고, 화학과 생명과학에서는 라부아지에(A. Lavoisier), 다윈(C. Darwin), 왓슨(J. Watson)을 선정하였다.

## 2. 자료 수집

이들 6명 과학자의 문제 해결 상황에서의 공감의 요소를 분석하기 위하여 각 과학자들의 자서전과 전기 및 그들의 이름으로 검색되는 학술지 자료 중에서 그들의 문제 해결과정이 드러난 연구 자료를 수집하였다. 과학사 및 과학철학저서에서 본 과학자들이 언급되어 있는 자료 6권, 각 과학자들의 자서전 및 일대기 서적 6권, 그리고 학술검색 및 구글 스칼라에서 ‘과학사’, ‘창의적 과학자’, ‘과학자 문제 해결’로 검색된 연구논문 중에서 본 연구대상인 6명의 과학자들의 사례로 확인되는 연구 논문 50여 편(다윈 8, 아인슈타인 10, 갈릴레이 15, 케플러 6, 라부아지에 5, 왓슨 4)을 수집하여 본 연구를 추진하였다.

## 3. 문제 해결 상황에서 과학자들의 공감 패턴을 분석하기 위한 준거들

본 연구에서 선정한 창의적 과학자 6명의 문제 해결의 과정에서 나타나는 공감패턴을 분석하기 위한 준거는 다음과 같다. 우선, 문제 해결과정에서 과학자들은 어떤 공감요소가 나타나는지 확인해보고자 하였다. 본 연구에서 문제 해결은 문제 발견에서 문제 해결, 해결 수행까지의 과정을 의미하며(Basadur, 1994), 분석들의 근거는 Davis의 다차원적인 공감척도를 활용하여 각 과학자에 문제 해결 상황에 대하여 분석하고자 하였다. Davis는 공감능력에 대하여 복합적인 측면이 있음을 주장하였고(Davis, 1980), 이를 다방면 연구에서 공감능력 측정을 통해 다양하게 활용함으로써 확인하고 있다(Park, 2004). 이에

본 연구에서는 공감에 대한 하위요소를 분석하고 이에 대한 인지적 공감측면에서 2가지 요소와 정서적 공감측면에서 2가지요소로 나누어 설명한 Davis관점을 활용하고자 하였다(Table 2).

위 분석들을 활용하여 수집한 자료에서 나타나는 과학자들의 문제 해결 상황에서 공감요소를 탐색하고, 이를 분석, 추출하여 각 요소에 대해 2, 3가지 사례를 제시하는 방식으로 서술하였다. 본 분석과정을 위하여 본 연구자들은 각 과학자들의 사례에서 Davis의 공감요소와 유사한 내용을 추출하였다. 수집된 과학자들의 공통적인 공감요소로 보이는 요인들을 선별하였고 공통된 공감의 하위요소별로 각 과학자들의 사례를 다시 정리하여 추출된 과학적 문제해결상황의 공감에 대한 공통요인에 대한 자료를 처리하고 분석하였다. 또한, 본 연구에서는 공감사례를 분석할 때, 과학자들의 문제 해결과정을 Basadur(1994)의 이론을 근거로 단계를 나누어 사례를 정리하였다. Basadur(1994)는 CPS이론에 근거하여 창의적 문제 해결을 학습과 문제 해결, 즉 지식습득과 지식의 활용의 두 가지 대립된 차원이 역동적으로 작용하는 과정으로 정의하고 이를 문제 발견, 아이디어 생성, 계획수립, 실행의 단계로 나누었다. 문제 발견단계에서는 경험, 아이디어생성이 관련된다고 보았고, 아이디어 생성단계에서는 아이디어 생성 및 사고, 계획수립 단계에서는 사고와 아이디어 평가요소와 관련되어 있으며, 마지막 실행 단계에서는 아이디어 평가와 경험이 관련된다고 하였다. 이 문제 해결 과정을 근거로 과학자들의 공감사례에서 발견되는 공감요소로 정리해보면 다음과 같았다(Table 3).

## 4. 문제 해결 상황에서 과학자들의 공감에 대한 내용타당성 검증

과학자들의 문제 해결사례에서의 공감요소에 대한 내용타당도 검증을 위해, 과학교육 전문가 1인과 과학교육 박사과정 2인 및 석사과정 3인으로 구성된 전문가 집단을 선정하였다. 내용 타당도는 I-CVI(item-level content validity index)와 S-CVI(scale-level content validity index)으로 산출하였다. 내용타당도 지수는 전문가 집단에게 각 문항이 해당 구성개념을 얼마나 잘 반영하고 있는지 검토한 후, 구성개념의 반영 정도를 1점에서 4점 사이의 서열적으로 구성하는 방법이다(Lynn, 1986). 각 문항은 ‘매우 적절하다(4점)’, ‘적절하다(3

Table 3. Empathy factors related to problem-solving steps

창의적 문제 해결		관련공감요소	
단계	관련요인		
문제 발견	경험에 의한 지식습득, 아이디어 생성	인지적 요소	관점 취하기(PT), 상상하기(FN)
		정서적 요소	공감적 관심(EC), 개인적 각성(PD)
아이디어 생성	사고에 의한 지식습득, 아이디어 생성	인지적 요소	관점 취하기(PT), 상상하기(FN)
계획 수립	사고에 의한 지식습득, 아이디어 평가	인지적 요소	관점 취하기(PT), 상상하기(FN)
실행	경험에 의한 지식습득, 아이디어 평가	인지적 요소	관점 취하기(PT), 상상하기(FN)
		정서적 요소	공감적 관심(EC), 개인적 각성(PD)

Table 4. An example of a professional questionnaire for the validation of the content validity of empathic cases in the problem solving situation of scientists (Lynn, 1986)

범주	요소	Davis의 일반적 공감요소의 정의	키워드	사례	적절성평가				이유		
					① 매우 부적절함	② 부적절함	③ 적절	④ 매우 적절함			
인지적 공감	관점취하기	다른 사람의 입장 또는 관점을 취해보려는 경향	다른 사람의 관점+발견 사실(이론)의 수용	1772년에 라부아지에는 생성되는 기체의 무게까지 고려한 정밀한 실험을 통해 금속이 하소하거나 비금속 물질이 연소할 때 무게가 증가한다는 사실을 밝혀냈다.“(중략) 슈탈이후에 가장 흥미로운 것”이라고 했지만 이러한 실험결과를 어떻게 해석해야할 지 명확한 입장을 보이지 못했다...프리스틀리는 라부아지에게와 정반대 실험을 하였다. (중략)라부아지에는 플로기스톤이 없는 공기가 자신이 찾던 새로운 기체라는 점을 알게 되었고 실험을 통해 이를 확인하였다. 그리고 그는 그 기체가 비금속 물질과 반응해서 산을 만든다는 사실을 발견한 후 ‘산을 만드는 원리’라는 뜻에서 “산소”라는 이름을 붙였다(Song, 2007)							
					빠른 관점 수용	프리스틀리로 부터 수은의 금속재를 렌즈로 가열하면 수은과 좋은 공기가 생성되는 실험결과에 대한 이야기를 들었다. 라부아지에는 즉시 이 공기가 바로 무게를 증가시키는 원인이라고 생각하고 이 ‘좋은 공기’를 분리하는 실험에 착수했다. 산소가 물질이 연소할 때 고정되고, 고정된 산소는 열을 가하면 자유로워질 수 있다는 실험 결과로부터 라부아지에는 산소의 결합과 분리에 바탕을 둔 연소 이론을 만들어냈다.					
						다른 학문의적용+결합	가축생물도 종과 정확히 똑같은 수단으로 만들어진다는 것이 내 이론에서 아름다운 부분이다...(중략) 변종은 두 가지 방식으로 만들어진다. 종 전체가 동일한 영향에 종속될 때에는 국지적 변종. 지역을 바꾸면 이런 일이 일어날 것이다. 그러나 그레이하운드와 파우터 비둘기는 그렇게 해서 나온 것이 아니라 훈련, 교잡, 순수혈통을 유지하는 방법으로 만들어진다. 자연에도 이것과 유비적인 과정이 있을까? 만일 있다면 자연은 근사한 결과물을 만들어 낼 수 있을 터... 여기 내 이론을 내놓는다. 더 없이 참된 이론이다 (Darwin E노트 1838, p. 71, p. 118; Ruse 2010, p. 299에서 재인용).				

점), ‘적절하지 않다(2점)’, ‘전혀 적절하지 않다(1점)’의 4점 Likert 척도로 평가하여 내용타당도 지수(Content Validity Index [CVI])를 산출하였다. 3인 이상의 전문가를 대상으로 산출하는 경우, I-CVI는 .78 이상, S-CVI는 .90이상이 적합한 것으로 본다(Lynn, 1986). 그리고 내용타당도의 검증 시, 사례에 대한 공감요소의 타당성에 관한 평가가 낮은 경우에는 예시를 수정하거나 추가로 요소에 대하여 설명을 추가하였다. 또한 전문가 집단이 검토하면서 제시된 사례와 공감요소와 관련성 적다고 판단된다면, 이에 대한 의견을 제시해 줄 것을 의뢰하고 이와 같은 과정을 반복하여 과학자들의 공감사례를 정리하고 요소를 추출하였다.

그 결과, 총 153개의 사례(갈릴레오 21개, 케플러11, 아인슈타인 46, 다윈 36, 왓슨39)가 탐색 되었으며, 이 중 공통된 사건에서 같은 공감능력을 사용하는 경우와 연구자간에 공감의 하위요소 이외에 다른 의미로 해석되는 경우는 분석 대상에서 제외하였다. 하지만 같은

사건에서도 다른 문헌을 통해 다른 공감능력이 사용되는 경우는 이를 유지 시키는 방법으로 공감사례에 대한 자료를 정선하였다. 이에 총 33가지 공통 요소로 추려지고 각 공감요소에서 관점 취하기는 13가지, 상상하기는 9가지, 공감적 관심은 5가지, 개인적 각성은 6가지로 정리되었다. 이것에 대한 전문가들의 내용 타당도를 확인 받기 위하여 각 공감사례가 속한 공감의 측면과 그 정의 키워드를 정리하여 이를 내용타당도로 확인 받았다. 그 중 관점 취하기에 해당하는 설문 일부가 Table 4와 같다.

과학적 공감사례에 대한 과학교육전문가들의 내용타당도 검증 결과 I-CVI 평균은 .86, S-CVI 평균 .90 값이 확인되었다. 하지만 이중 I-CVI가 .78 미만의 사례에 대해서는 그와 비슷한 요인으로 추출된 다른 사례로 수정하여 재검증을 하였고 설문지에 표기된 전문가들의 의견을 반영한 추가 검증을 통해 수정된 사례가 적합하다고 판단되는 경우에만 과학적 공감 사례의 요소에 포함시켰다.

### III. 연구 결과

#### 1. 과학자들이 문제 해결에서 나타나는 공감요소

과학자들의 문제 해결 과정에서 발견되는 과학적 공감요소 중에서 공통 요인으로 나타난 각 요소에 대하여 높은 내용 타당도 값이 나타난 대표적 사례들에 대하여 Davis의 공감척도를 근거로 인지적 공감요소와 정서적 공감요소로 분류해서 제시하면 아래와 같다(Table 5).

##### 가. 관점 취하기

관점 취하기란 다른 사람의 심리적 관점이나 태도를 자발적으로 취해보려는 경향을 말한다(Davis, 1980). 공감자가 공감대상의 입장에서 다양한 사고 관점을 갖도록 하는 인지 전략으로서 문제를 객관적으로 바라 볼 수 있는 이성적인 공감이라고 말할 수 있다. 이에 과학자들이 문제를 해결하기 위하여 자신의 관점을 전환하고 수용하는 방법으로는 다른 학문 분야를 통해서 문제 해결의 관점을 수정하거나, 연구대상의 관점에서 문제를 바라보는 경우, 마지막으로 다른 사람의 의견을 수용하는 태도로 나타났다.

##### 1) 다른 학문 분야를 통한 공감

과학자들이 문제를 발견하거나 문제를 해결하는 과정에서 다른 학문의 관점을 활용하는 경우가 있었다. 자신의 연구 분야 이외의 다른 연구 관점을 활용하여 자신의 연구 주제를 해결하는 패턴으로, 다윈은 자신이 주장한 자연선택설을 설명하기 위하여 다양한 다른 분야의 연구관점 활용하였다(예 1). 갈릴레이의 경우 자신의 금금증 해결을 위하여, 기술자들과 자주 교류했으며 그들을 대상으로 기계, 건축, 역학 등에 대하여 토론하면서 자신의 연구주제나 해결 방법을 확장 시켰다(Song, 2007). 또한 케플러는 수학의 실재론적 이해를 통해 물리학적 연구에서 수학의 자유로운 응용과 경험적 엄밀성이라는 방법적 결합으로 문제를 해결하였다(Kim, 1997). 라부아지에의 경우에도 대수학적 기호를 활용하여 화학반응식을 간단하게 정리할 수 있었다(Traite Elementaire de Cucher, 1793: as cited in Lee, 2014). 다른 학문의 방법을 이용하여 새로운 관점으로 문제를 해결하려는

공감패턴은 공감의 요소 중에 다른 사람의 관점을 통하여 자신의 문제를 발견하고 해결 방법을 도출해가는 과정으로서, 다른 사람의 생각이나 인식을 자신의 마음에 표상하는 인지적 공감과 연관된다(Blair, 2005; Smith, 2006).

##### (예 1) 다윈의 다른 학문 분야를 통한 공감

- 영국에 돌아온 뒤 라이엘의 지질학 모범을 따르며, 길들인 것이든 자연 상태이든 동식물의 변이에 담긴 모든 사실을 수집한다면 이 주제 전체를 해명하는데 조금이나마 도움이 될 수 있겠다는 생각을 했다....나는 베이컨의 귀납원리에 따라 아무런 이론 없이 방대한 사실을 수집했다. 특히 길들인 생물에 관해 서면 질문을 하거나, 노련한 사육사나 원예사와 직접 대화를 하거나, 다방면에 걸친 독서를 통해 수집했다(Darwin, 1887).

##### 2) 연구대상의 관점에서 공감

연구대상의 관점을 통하여 공감을 경험한 과학자로는 아인슈타인이 대표적이다. 그는 예 2에 나타난 것처럼 상대성이론의 근간을 마련하기 위하여 다양한 사고 실험을 사용하였는데 이때 자주 활용하였던 방법이 자신이 그 연구 주체들의 관점에서 생각하는 것이다(Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2007). 연구 대상과 동일시 된 느낌이 아닌, 그들의 관점에서 객관적으로 상황을 바라보는 것이다. 이러한 패턴은 아인슈타인과 다윈의 사례에서도 확인할 수 있었다. 다윈의 경우, 생명체의 진화과정에 대해서 생물종의 고통과 쾌락에 대하여 생물체의 입장에서 문제를 바라보려고 하였고 섬들을 탐사하면서 그곳에서 발견되는 도마뱀의 생태의 원인을 그들의 입장에서 파악하려는 노력이 드러났다(Darwin, 1887). 이러한 예들은 연구대상의 관점을 통한 공감의 방법으로, 과학자들이 자신을 공감 대상의 위치에 놓아 연구대상의 느낌을 객관적으로 이해하려는 인지적 공감전략을 통해 문제를 해결한 것이다(Kim, 2015).

##### (예 2) 아인슈타인의 연구대상의 관점에서 공감

- 그는 광선과 함께 이동하면 어떻게 되는 상상을 했다...(중략)...그는 중력이 공간과 시간을 휘어지게 만든다는 생각을 근거로, 물질, 운동, 에너지의 상호작용에서 어떻게 굽은 공간의 동력함이 나타나게 되는지를 설명하는 방정식을 찾아냈다. 트럼펠린의 2차원 표면에 볼링공을 올려놓은 후에 당구공을 굴러본다. 물론 당구공은 볼링공 쪽으로 굴러간다. 볼링공이 신비스러운 인력을 작용하기 때문이 아니라 트럼펠린의 천이 볼링공 때문에 굽어졌기 때문이다. 이제 공간과 시간의 4차원 천위에 무슨 일이 벌어질 것인지를 상상해본다(Isaacson, 2008).

Table 5. Empathy element of Scientist extracted through critical incident technique analysis

공감요소		갈릴레이	케플러	아인슈타인	라부아지에	다윈	왓슨
Davis의 공감요소	과학 공감요소						
관점 취하기	다른 학문 분야를 통한 공감	✓	✓		✓	✓	
	연구대상의 관점에서 공감			✓		✓	
	다른 사람의 의견 수용				✓		✓
상상하기	관찰 근거의 상상					✓	✓
	사고실험	✓		✓			✓
	연구 대상에 대한 유기체적 느낌			✓			
공감적 관심	동료 연구자의 의욕에 따른 반응						✓
	연구대상에 대한 감동					✓	
	더 연구하고 싶은 흥분	✓		✓		✓	✓
개인적 각성	타인의 연구실패에 대한 불편한 감정		✓				✓
	문제에 대한 민감성	✓		✓	✓	✓	✓

3) 다른 사람의 의견 수용

관점을 전환하는 다른 방식으로 타인의 의견을 수용하는 측면이 과학자들의 사례에서 추출되었다. 관점을 바꾸는 과정을 통해 DNA가 이중 나선 형태임을 확인하였던 왓슨과 크릭(Crick)은 본인들의 의견만이 옳다고 주장하기 보다는 주위사람들(그 분야의 다른 전문가)의 의견을 경청하고 이를 수용하면서 본인들의 가설을 수정하고 보완해 나갔다(Jung, 2017). 이러한 패턴은 라부아지에에게서도 확인되었는데, 라부아지에의 경우, 자신과 정반대 실험을 한 프리스틀리의 실험결과를 통해 자신이 발견해 내지 못한 산소에 대하여 확인한 후 이를 받아들여 자신의 이론을 보다 견고히 다졌다(Song, 2007). 이는 타인의 관점을 자발적으로 받아들이는 경향성(Davis, 1980)으로서 타인의 관점을 수용하여 문제 해결에 반영하는 인지적 공감적 요소라고 할 수 있다.

(예 3) 왓슨과 크릭의 다른 사람의 의견 수용

- ...존 그리피스와 이야기를 주고받다가 그는 문득 이 규칙성이 매우 중요할 지도 모른다는 생각을 하게 되었다...그리피스는 유전자의 복제 이론에도 관심이 있었다. 크릭은 이 사실을 알고서 완전한 생물학적 원리라는 것은 결국 유전자의 자기 복제성을 뜻하는 것이 아니겠냐고 물었다...그러나 그리피스의 견해는 크릭과 달랐다...그날 밤 크릭과 그리피스는 이미 진부해진 가설에 대해 한참동안 의견을 나누다가 어찌 됐든 중요한 문제는 유전자가 복제될 때 이를 견인하는 힘이 무엇이나 하는 것이라는 데 의견을 모았다(Watson, 1968).

나. 상상하기

상상하기란 Davis의 정의에 따르면 자신을 상상력으로 책, 영화, 희극 등의 허구적인 인물의 느낌이나 행동 속으로 전위시켜보려는 경향을 말한다. 관점 취하기의 경우, 과학자들은 문제 상황 앞에서 객관적인 태도로 문제를 분석하고 이해하려고 하였다면, 상상을 통한 공감과정에서는 보다 깊은 몰입을 통하여 문제 상황에 참여하려는 인지적 노력을 경험하였다. 이러한 공감요소가 연구자를 꼭 허구적인 인물에 전위시키면서 나타나기보다는 문제 상황에서 증거를 수집하고 이를 근거로 상상하면서 자신의 지식을 확장시키는 과정으로 공감이 나타나기도 하였다. 또한, 이러한 요소가 세상을 이해하는 개인적 인식방법으로 존재하지 않는 것에 대하여 사고를 통해 작동하는(Wamock, 1976) 공감과정으로도 나타났다. 그 예로 과학자들은 문제 해결을 위하여 가상의 상태를 상상하고 실제 실험이 일어나지 않았지만 머릿속에서 실험을 실행해보며 그 해결과정을 시뮬레이션 해보거나, 연구대상에 자신을 전위시켜서 그 느낌을 느껴보는 형태의 공감을 경험하였다.

1) 관찰 근거의 상상

관찰을 근거로 한 상상은 과학자들의 인지적 공감방법의 하나로 과학자들은 문제에 접근할 때 자신이 관찰했던 사진이나 알고 있던 지식에 근거하여 이를 확장하는 방법으로 문제를 발견하고 이를 해결하고자 하였다. 상상력의 근원이 지식을 기반하고 있으며 그 지식을 통해 문제 해결 방법을 창의적으로 찾기 위하여 이와 같은 공감방법을 활용한 것이다. 그 예로 다윈은 비굴호를 타고 항해를 하는 도중에 자신이 시각적으로 관찰한 사실을 근거로 과거에 있었을 것 같은 지질현상이나 생명체에 대하여 상상하였다(예 4). 이러한 은유적 상상

력을 통한 문제 해결은 왓슨이 X선 사진들을 통해 DNA구조를 상상할 때도 활용되었다. 그는 단면으로 찍혀진 X선 사진들을 근거로 3차원 입체의 DNA구조를 머릿속에 그려 넣으려고 노력 하였다. 이러한 공감패턴은 Holton의 과학적 상상력과 매우 유사하며 기존의 지식을 창의적으로 재구성하여 새로운 사실을 창출해 나가는 과학자들의 상상력에 대한 사례를 분석한 선행연구와도 연관된다(Mun et al., 2013).

(예 4) 다윈의 관찰 근거의 상상

- 가축생물도 종과 정확히 똑같은 수단으로 만들어진다 것이 내 이론에서 아름다운 부분이다... 변종은 두 가지 방식으로 만들어진다. 종 전체가 동일한 영향에 종속될 때에는 국지적 변종. 지역을 바꾸면 이런 일이 일어날 것이다. 그러나 그레이하운드와 파우더 비둘기는 그렇게 해서 나온 것이 아니라 혼련, 교잡, 순수혈통을 유지하는 방법으로 만들어진다. 자연에도 이것과 유비적인 과정이 있을까? 만일 있다면 자연은 근사한 결과물을 만들어 낼 수 있을 타... 여기 내 이론을 내놓는다. 더 없이 참된 이론이다(Darwin, 1838, p. 71, p. 118: as cited in Ruse 2010, p. 299).

- 상상 속에서 퇴적층이 지속적인 침강보다는 산호가 위로 자라서 그런 지형을 형성한 것이 아닌가 하는 생각이 떠올랐다. 이는 보초와 환초 형성에 대한 내 이론을 만드는 일이었다(Darwin, 1887).

2) 사고실험

과학사적으로 위대한 과학자들의 문제 해결 방법으로 많이 언급된 것은 사고 실험이다. 사고실험들은 반사실적인 상황에 대한 시나리오로 과학자들의 머릿속에서 구성되는데, 여기서 직관과 상상이 상식적 지식과 결합하여 작동하고 있는 것을 볼 수 있다(Hwang, 2018). 이는 Davis의 인지적 공감요소 중 상상과 유사하지만 문제 해결을 위해 과학자들이 가상의 상황을 만들고 그 속에서 문제 해결을 위한 탐구 과정을 시뮬레이션 해본다는 점이 다르다. 그 예로 갈릴레이는 문제를 실험을 통해 직접해결하기 보다는 머릿속에서 문제를 해결하면서 그 느낌을 감각적으로 경험하는 경우가 많았다(Kim, 1997). 배 위에서 물체를 떨어뜨리는 상황이나 투사체 운동에 대한 문제를 설명할 때 직관을 통해 문제의 해결방안을 찾고 그 과정을 상상력의 형태로 접근하였다. 이는 아인슈타인에게도 자주 발견되는 사례로 스위스 예비학교를 다닐 때 전자기 이론에 대하여 분석하거나 스위스 특허국에서 근무할 때 시공간속의 비대칭성에 대한 연구를 할 때 그가 문제를 해결하는 방법이었다(Millar, 2000). 이러한 공감요소는 일반적 공감요소의 상상보다는 과학자들의 공감 사례에서 보다 심오하고 깊은 인지적 과정으로 나타나고 있다.

(예 5) 갈릴레이의 사고실험

- 갈릴레이는 이제 자신의 새로운 관성개념에 근거하여 지구가 자전함에도 불구하고 왜 탑 아래로 낙하하는 물체가 탑과 동일한 수직선상에 있는 지면에 낙하하는가에 대한 답변을 제공한다...공은 지구의 자전과 동시에 탑과 더불어 서쪽에서 동쪽으로 지속적으로 관성운동으로 하고 있다. 그리고 공이 탑에서 떨어져 낙하하는 동안에도 공의 운동 상태에 영향을 주는 원인이 없기 때문에—해안선에 대해 등속으로 항해하는 선박의 마스트에서 떨어지는 물체처럼—공은 탑과 함께 관성운동을 계속하며 결과적으로 바로 탑 아래지점에 낙하하는 것이다 (Kim, 1997).

3) 연구 대상에 대한 유기체적 느낌

과학자들이 사용한 인지적 측면의 공감 방법 중에서 가장 깊은 몰입은 그들 자신이 연구대상의 일부처럼 느낄 때 필요하다. 특히, 아인슈타인은 사용한 다양한 사고 실험에서(예 6) 자주 활용하였던

방법이 자신이 그것의 일부인 것 마냥 느끼는 것이었다(Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2007). 이는 공감의 요소에서 연구대상의 일부가 되는 느낌을 통해 연구자 자신을 가상의 상황에 처하게 하는 상상력을 동원하여 문제를 해결한 것이다(Davis, 1980). 이는 과학자들이 학문적 실행에서 경험하는 인식적 감정(epistemistic affect)에 대하여 언급한 Jaber & Hammer(2016)의 ‘연구대상에 대한 공감(Empathy with the object of the study)’과 매우 유사한 측면이 있다. Jaber & Hammer(2016)는 이러한 과학자들의 문제 해결 전략을 감정적인 측면에서 바라보았지만 이를 인지적 측면으로 본다면 과학자들이 문제 해결 상황에서 ‘만약 자신이 연구대상이라면?’ 라는 인식을 통해서 그들의 느낌을 동일하게 느끼며 문제 해결의 실마리를 찾게 되는 것이다. 다시 말하자면, 과학자들이 연구대상과의 깊은 공감적 이해를 통해 자아를 잊고, 사람의 입장에서 문제를 객관적으로 바라보는 것이 아니라, 연구대상 자체가 되는 느낌을 통해 연구대상과 유기체가 되는 경험을 하는 것이다.

#### (예 6) 아인슈타인의 연구 대상에 대한 유기체적 느낌

- “사고과정에 필수적인 역할을 수행하는 심리적인 실제들은 일종의 중후들이거나 분명한 이미지들로서 자발적으로 재생산되고 결합되는 것들이다. 내 경우에는 그 요소들이란 시각적이고 때로는 ‘근육까지 갖춘 것’들이다.” 모종의 사고 실험에서 그는 자신을 빛의 속도로 이동하는 광자라고 상상했다. 광자인 그가 보고 느끼는 것을 ‘상상’하고 나서 그는 또 다른 광자의 역할을 맡았고, 첫 번째 광자의 역할에서 경험한 것을 상상하려고 했다. 아인슈타인이 심리학자인 막스 베르트하이머에게 설명한 바에 따르면 그는 이 시각적이고 ‘근육질적인’ 사고가 자신을 어디로 데려갔는지 매우 어렵게 이해했을 뿐이라고 했다. 그는 ‘유기체 느낌’에 대하여 말하고 있다. (Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2007).

#### 다. 공감적 관심

공감적 관심이란 타자지향적인 동정을 느끼고 불행한 타인에 대하여 관심을 갖는 경향을 의미한다(Davis, 1980). 과학자들이 문제를 해결하는 과정에서는 연구 동료에게 관심을 갖게 되면서, ‘동료연구자의 의욕’으로 인하여 문제를 해결하고자하는 동기가 생기는 경우도 있었지만, 공감의 대상이 사람이 아닌 연구대상, 혹은 연구주제에 대한 공감적 관심으로 감정적인 동요를 경험하면서 ‘연구대상에 대한 감동’, ‘더 연구하고 싶은 흥분’ 등으로도 나타났다.

##### 1) 동료 연구자의 의욕에 따른 반응

동료 연구자의 연구의지에 따라, 과학자 본인의 연구 동기가 영향을 받는 모습은 왓슨의 경우 많이 관찰되었다. 왓슨의 경우, 연구 동료인 크릭이 DNA에 관심을 보이지 않고 문제를 해결하고자 하지 않는 경우, 그 연구를 추진하고자하는 의지가 저하되는 경우가 있었으며, 이는 크릭의 경우에도 마찬가지였음이 나타났다(예 7). 또한 두 연구자가 서로 마음이 맞아 연구에 대한 의지가 충만할 때는 이에 대한 시너지 효과로서 연구에 보다 집중하고 몰입하여 서로 집중적으로 의견을 나누었던 것으로 보인다(Watson, 1968). 이는 과학적 문제 해결과정에서 사회구성원에 영향을 받는 측면으로, 왓슨의 사례를 통하여 다양하게 확인되었다. 다른 과학자들의 사례와 달리 왓슨의 경우, 동료연구자와 협업을 통하여 문제를 해결하는 과정이 분석했던 자료에 많이 등장하였기 때문에 다른 과학자들에게서 찾아볼 수 없는

실제 실험실 안에서 타인과의 공감을 통한 문제 해결모습이 나타난 것이다(Dunbar, 2000). 이 사례들에서는 정서적 공감이 타인의 정서 상태를 공유하고 그 표현에 반응하는 능력(Blair, 2005; Smith, 2006)이라는 면에서 긴장된 대인 상황에서 생기는 타인-지향적 감정이 드러난 것으로 보인다.

#### (예 7) 왓슨의 동료연구자 의욕에 영향 받음

- 그러나 이번에는 크릭이 예전처럼 주도적으로 나서려 하질 않았다. TMW의 나선구조에 대한 증거는 대수롭지 않다는 식이었다. 내 관심도 자연히 저하될 수밖에 없었고 급기야 나중에는 단백질 단위체가 정말 나선형일까 하는 근본적인 의문까지 품게 되었다(Watson, 1968).  
- 여름 휴가가 끝날 때까지도 내가 DNA에 전력을 기울이는 기미를 보이지 않자 크릭은 실망하는 눈치였다(Watson, 1968).

##### 2) 연구대상에 대한 감동

연구대상에 대한 감동은 연구대상이 공감적 관심의 대상이 되면서 느끼는 감정입의 상태이다. 과학자들이 연구대상을 관찰하다가 그들이 보여주는 변화나 바뀌는 현상에 대하여 연구자들이 감동하는 경우가 있었다. 다윈의 경우, 연구대상에 대하여 그들의 변화와 성장에 대하여 감탄하였고, 이를 통해 그는 연구에 대한 동기를 얻는 것이다(예 8). 이는 과학자들이 상대방 즉 연구대상의 경험을 자신과 관련시키면서 과학자들 안에 내사된 공감대상의 감정과 그에 대한 공감자의 공명적 반응으로 볼 수 있다(Goldstein & Michaels, 1985). 이 과정은 공감대상 즉 연구대상이 경험하고 있는 상황에 대하여 공감자가 의미를 부여하고 이에 대하여 정서적 참여가 심화되면서 심도 깊은 공감적 이해를 가능케 해주는 정서적 공감능력의 한 요소라고 할 수 있다.

#### (예 8) 다윈의 연구대상에 대한 감동

- 가령 딱따구리나 나무개구리가 나무에 올라가는 것이라든지, 갈고리돌기나 깃털을 타고 씨앗이 퍼지는 경우를 봐도 그렇다. 나는 이런 적응 능력을 보고 늘 감탄했으며, 그것을 모두 설명할 수 있을 때까지는 종이 변해 왔다는 간접 증거 정도만 증명하려는 시도조차 부질없어 보이기까지 했다(Darwin, 1887).  
- 그는 내게 씨앗을 보내주었는데, 그 식물들을 길러보면서 나는 덩굴손과 줄기의 회전운동에 상당히 매료되었다. 처음 보면 복잡한 것 같지만 사실 그 움직임은 정말 단순했다. 그래서 다른 덩굴식물을 몇 가지 더 사서 이 주제 전체를 연구하게 되었던 것이다(Darwin, 1887).

##### 3) 더 연구하고 싶은 흥분

더 연구하고 싶은 흥분이 과학자들에게 나타나는 경우, 이것이 연구자의 연구에 대한 지속적인 동기부여의 형태로 관찰되었다. 이러한 공감적 관심의 시작이 과학자들이 연구할 문제나 연구할 주제를 발견했을 때, 혹은 연구하고자 하는 방향을 찾았을 때에 갑작스럽게 나타나기도 한다. 또한 해결 방법을 발견한 경우, 과학자들은 연구 주제에 대하여 감정적 동요가 생기는 것으로도 나타났다. 이러한 공감자의 연구하고자 하는 열망이나 흥분이 왓슨에게는 DNA구조에 대한 실마리를 찾게 되면서 그가 느끼는 희열을 통해 확인되었다(예 9). 갈릴레이, 아인슈타인, 다윈의 경우에도 문제가 해결되는 과정에서 이러한 공감적 관심을 통해 과학자들이 연구에 집중할 수 있었고 그 과정에 대한 희열을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 정서적 공감은 과학자가 문제 해결의 과정이나 결과 차원에서 얻어지는 공감으로서, 과학자가 공감을 느끼는 과정에 참여한 결과 형성되는 인지적, 정서

적 일치 현상이라고 할 수 있다(Goldstein & Michaels, 1985).

**(예 9) 왓슨의 더 연구하고 싶은 흥분**

- 그 사진을 보는 순간 나는 입이 딱 벌어지고 심장이 뛰기 시작했다. 그 사진의 패턴은 이전에 얻은 것보다 믿을 수 없을 만큼 더 간단했다. 뿐만 아니라 사진에서 가장 뚜렷한 십자형 검은 회절무늬는 나선구조에서만 생길 수 있는 것이었다. A형에서는 나선구조를 입증하기가 결코 간단치 않았다. 나선의 대칭형에 있다고 정확하게 말하기에는 애매한 점이 상당히 많았기 때문이다. 그러나 B형 X선 사진에는 한 눈에 보아도 나선을 입증하는 결정적인 요소들이 뚜렷이 자리 잡고 있었다. 조금만 더 궁리해보면 DNA분자에 있는 사슬의 수도 쉽게 알아 낼 수 있을 것 같았다(Watson, 1968, p.178).

**라. 개인적 각성**

개인적 각성이란 Davis에 따르면 다른 사람의 불행이나 고통을 보면 마음이 불편해지고 고통스러워지는 경향을 말한다. 과학자들은 이러한 개인적 각성의 측면이 과학자들이 문제를 해결하는 과정에서 불편한 감정을 느끼면서 시작되는 것으로 확인되었다. 예를 들어 타인의 연구실패가 마음에 쓰이면서 연구동기가 자극 받거나, 문제에 대한 모호함으로 불편함을 느끼면서 이를 해결하고자 연구에 참여하게 되는 것이다.

**1) 타인의 연구실패에 대한 불편한 감정**

타인의 연구실패에 대하여 마음이 쓰이는 형태가 공감적 관심의 한 요소로서 과학자들의 문제 해결 과정사례에서 확인되었다. 타인의 불운한 상황에 대하여 마음이 쓰이는 예로 케플러는 Porta(포타)의 연구실패를 극복하기 위한 방법을 찾으면서 문제 해결과정에 보다 깊게 참여하였으며, 그의 연구 실패에 대한 안타까움이 해결방안을 찾는 도화선이 되었다(예 10). 왓슨의 경우에도 DNA구조를 밝히는 과정에서 대가인 폴링이 발표한 자료를 분석하면서 그가 이러한 실수를 한 것에 대한 안타까움을 나타내며 이에 대한 대안을 고안한다(Watson, 1968). 이러한 현상은 과학자들이 실패한 연구결과를 얻은 다른 과학자들의 감정에 관심을 갖는 태도로서 실패한 연구결과들에 대하여 그들이 보지 못한 다른 방향에 대하여 제시해주거나 추가 보완했다면 하는 사항들을 제시하는 경우가 많았다. 이러한 사례들에서 과학자들이 연구실패를 경험했던 다른 이들의 문제 해결과정에 자신의 마음상태와 일치시켜 자신의 연구동기가 자극 받았음을 확인할 수 있었다.

**(예 10) 케플러에 타인의 연구실패가 마음에 쓰임**

- Kepler에 의해 인용된 또 다른 의학자는 Porta였는데, 그는 수정체가 상의 위치라는 생각을 가지고 있긴 했지만 그는 눈의 기작을 바늘구멍사진기(camera obscura)에 비유 하여 눈의 동공(pupil)이 바늘구멍사진기의 바늘구멍처럼 작용하는 것으로, 그리고 수정체는 바늘구멍사진기에서 상이 맺히는 스크린처럼 작용하는 것으로 설명하였다. Kepler는 Porta의 설명을 인용하면서 ‘만일 그가 그의 설명에 도입된 상이 수정체에 의해서 망막에 맺힌다는 설명을 추가했다면, 그는 시각 메커니즘을 분명하게 해결할 수 있었을 것이다’라고 아쉬워했다(Crombie, 1990).

**2) 문제에 대한 민감성**

과학자들의 개인적 각성측면의 공감은 과학자들이 문제 상황에서 불편함을 느끼면서도 발견되었다. 특히 과학자들이 문제 해결과정에서 가지고 있는 가장 큰 공통점 중에 하나는 문제 상황에 대한 민감성이었다. 이러한 사례로는 라부아지에가 슈탈의 플로지스톤설의 불완전성을 통하여 문제에 대한 불안감을 느끼고 이에 대한 궁극적인 해결방안을 찾고자 했던 것에서 발견할 수 있다(예 11). 이와 비슷하게 왓슨은 폴링이 제시한 이론에서 문제가 있다는 것을 발견하고 이에 대한 불편함을 느꼈다. 아리스토텔레스의 저서를 읽으며 불편함을 느꼈던 갈릴레이 또한 마찬가지로의 공감패턴이 나타났으며, 아인슈타인과 다윈의 경우에도 이러한 민감성을 통하여 문제를 발견하였다. 다른 사람은 인지하지 못하는 것을 문제로 인식하는 능력이 타인에 대한 관심과 배려에서부터 시작된다는 연구결과(Park, 2004; Howe, 2012)에 비추어 이러한 민감성은 정서적 공감과도 관련이 있다. 특히 본 연구에서 발견한 과학자들의 사례들에서는 그들이 문제를 발견함과 동시에 정서적으로 불편함을 함께 느낀 점을 감안한다면 문제에 대한 민감성은 정서적 공감과 연관되어있음을 확인할 수 있었다.

**(예 11) 라부아지에의 문제에 대한 민감성**

- 라부아지에의 앞서 언급한 1777년 논문 [플로지스톤에 대한 성찰]에서 슈탈의 플로지스톤 이론이 얼마나 모호한 상태에 있는지 언급하며...화학자들은 플로지스톤을 갖고 전혀 엄격하게 정의되지 않았기 때문에 그 결과, 끼워 넣고자 하는 모든 설명에 맞춰지는 모호한 개념을 만들었던 것이다. 플로지스톤은 때로는 흙의 성질을 띤 원소와 결합된 불이기도 하다. 또한 때로는 용기의 구멍을 투과하지만 때로는 그렇지 않으며 때로는 투과가 불가능한 것이기도 하다. 플로지스톤은 가성인 동시에 비가성이며, 반투과성이면서 불투과성이고, 색을 가지면서 갖지 않기도 하다. 매순간 형태를 바꾸는 진정한 프로테우스라고 할 것이다. 이제 화학을 더욱 엄격한 추론 방식으로 이끌고 화학이 매일같이 추론과 편견이 더해져 풍부해지는 사실들을 제거하고 사실과 관찰인 것과 체계와 가설인 것을 구분하고 화학의 지식이 이론 용어를 분명하게 하도록 노력해야 할 때다. 그렇게 한다면 우리 뒤를 잇는 사람들은 이 지점으로부터 출발해서 화학의 진보를 수행할 수 있을 것이다(Lee, 2014).

**2. 과학자들이 활용한 공감의 새로운 측면**

앞에서 분석한 자료를 토대로 과학자들의 문제 해결 상황에서 과학자들의 공감에 대한 새로운 측면을 정리해보았다. 우선 인지적 측면에서 개인 내에서 사고를 확장시키거나 정서적 측면에서 탐구를 지속 시키게 하는 전략으로서 그 특이성을 확인할 수 있었고 사회문화적 측면에서 개인적 측면과 타인과의 관계측면으로 확대된 과학자들의 공감특성을 발견할 수 있었다.

**가. 창의적 문제 해결 상황에서 탐구 전략으로 활용되는 공감**

과학자들은 문제 해결 과정에서 자신의 문제를 해결하기 위해서 논리적인 추론과정을 경험한다(Dunbar, 2000; Osborne et al., 2004). 하지만 과학자들의 문제 해결과정은 논리적 측면뿐만 아니라 직관적이며 창의적인 측면도 요구되는데(Marton et al., 1994), 본 연구에서도 이러한 과학자들의 특성이 확인되었다. 특히 각 문제 해결 단계 중 확산적 사고가 필요한 경우, 공감은 과학자들의 객관적인 지식들이 창의적인 사고를 통해 새로운 조합으로 구성하도록 돕는 매개체로



Table 6. The active and passive empathy elements extracted from the problem-solving situation of scientists

Davis의 공감요소		추출된 과학자들의 공감요소	
		능동적 공감	수동적 공감
인지적	관점 취하기(PT)	다른 학문 분야를 통한 공감, 연구대상의 관점에서 공감, 다른 사람의 의견 수용	
	상상하기(FN)	관찰 근거의 상상, 사고실험, 연구 대상에 대한 유기체적 느낌	
정서적	공감적 관심(EC)		연구대상에 대한 감동, 더 연구하고 싶은 흥분, 동료 연구자의 의욕에 따른 반응
	개인적 각성(PD)		문제에 대한 민감성, 타인의 연구실패에 대한 불편한 감정

활용되었음을 확인할 수 있었다. 다시 말해, 그들의 지식 구조를 창의적인 사고를 통해 확장시키는 과정 중에 공감이 활용된 것이다. 이에 확산적 사고의 매개체로서의 공감을 활용했던 과학자들의 사례에서 발견된 요소들을 능동적인 공감요소와 수동적인 공감요소로 정리해 보았다(Table 6).

능동적 문제 해결 전략으로서의 공감은 과학자들이 문제 해결하는 상황에서 문제에 해결을 위하여 자신이 문제 상황에 목적을 가지고 적극적으로 개입하는 공감요소를 말한다. 문제를 발견하거나 아이디어를 생성하는 과정에서 과학자들은 문제 상황에 능동적으로 참여하기 위하여 공감요소를 활용하였다. 이 때 자신의 관점을 바꾸거나 새로운 관점을 수용하는 관점 취하기의 형태를 활용하는 경우가 있었는데, 예를 들어 다윈의 자연선택이론은 멜서스의 ‘인구론’ 연구의 관점을 접목하면서 명확해 졌다고 할 수 있다(Desmond & Moore 2009). 그의 연구 노트에도 ‘종의 전쟁’을 멜서스만큼 강력하게 표현한 사람은 없다(Herbert 1972, pp. 214-7; Bowler 1999, p. 111)고 언급할 만큼, 그는 그의 진화론에 인구론의 관점을 활용하여 해결방법을 확장시키면서 그 스스로도 다른 학문 분야와의 적극적인 공감을 통하여 문제가 해결되었음을 인정하고 있다.

또한 과학자들은 문제 해결의 아이디어를 얻거나 해결방법을 수행하는 과정에서 상상이라는 공감요소를 통해 문제 해결 과정에 참여하였다. 다시 말해, 과학자들이 관찰한 내용을 근거로 해결방법을 상상해보고, 머릿속에서 실험과정을 실행해보거나, 자신이 연구대상의 일부처럼 느끼는 공감과정을 통해 문제 상황에 적극적으로 참여하면서 문제를 해결하고 있었다. 그 예로 아인슈타인은 광선과 함께 이동하면 어떻게 되는 상상을 통해 상대성 이론과 양자론의 근거를 마련할 수 있었으며 특수상대성이론의 경우, 그의 생각이 사고 실험을 통해 진화되었다(Millar, 2000). 이렇게 과학자들은 관점전환, 상상이라는 공감적 요소를 통해 자신들의 지식 및 정보를 새로운 시각을 받아들이고 이를 머릿속에서 새롭게 조합하여 적극적으로 문제를 해결하는 창의적인 사고과정을 하고 있었다. 본 연구 결과에서 이러한 과학자들의 능동적 전략측면의 공감요소들은 인지적 공감요소 내용에 해당되는 것으로 나타났다.

수동적 문제 해결 전략으로서 공감은 문제 상황이나 현상의 변화에 의해 과학자가 문제 상황에 참여하게 되는 무의식적 측면의 공감요소를 말한다. 과학자들은 정서적 공감을 통해 문제를 발견하거나 해결과정을 수행함에 있어서 연구대상 및 동료에게 관심을 갖게 되면서 문제 상황에 참여하게 되는 공감적 관심을 활용하는 것이 확인되었다. 다시 말해, 연구대상의 변화를 감지하거나 함께하는 연구 동료의 의욕에 영향을 받아서 문제를 해결하게 되는 사례도 있었다. 예를 들어

왓슨의 경우, 결과적으로 DNA구조에 대한 실마리를 발견하였을 때는 이에 희열로 가득했지만 그 과정 중에는 그의 열의가 연구 동료인 크릭의 연구의욕에 따라서 참여도가 달라지는 것으로 확인될 수 있었다(Watson, 1968). 이렇게 과학자의 공감은 외부의 자극에 의해서 영향 받은 연구자의 공감이 긍정적인지 부정적인지에 따라 연구 참여의 정도가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 이 밖에 과학자들은 자신의 의도나 목적이 반영되지 않은 개인적 각성을 통하여 문제 상황에 참여하여 문제를 해결하는 경험을 갖기도 한다. 타인의 상황에 부합되는 정서를 경험하는 정서적 공감과정을 통해, 과학자들은 타인의 연구실패에 대하여 심리적 불편함을 느끼고 이를 해결하려고 노력하였다. 문제 상황을 자신의 논리적 사고로 분석하고 그 해결과정을 고안하고 실행하는 과정에서 발생하는 과학자들의 개인적 각성이 문제 해결을 위한 원동력으로 사용되기도 하였다. 즉, 캐플러가 상이 맺히는 과정에 대한 포타의 설명을 인용하면서, 그의 부족한 부분에 대하여 정서적으로는 아쉬워하면서도 이를 논리적으로 분석하고자하는 사례가 그 예로 될 수 있을 것이다(Crombie, 1990). 이는 지속적인 참여를 이끄는 것은 감정이라는 Duckworth(2001)의 언급을 고려할 때, 과학수업에서의 탐구에 참여하는 학생들의 모습에 대하여 정서적 측면의 중요성을 진술한 것과 관련이 있을 것이다. 이렇게 과학자들의 공감적 관심과 개인적 각성이라는 공감요소를 통해, 과학자들은 문제 해결에 대한 참여가 자극받을 수 있다는 것이 나타났으며 이는 Davis의 정서적 공감요소의 특성과 관련된 것으로 나타났다.

다시 말하자면, 인지적 공감은 관찰자인 과학자가 가까이 문제 해결을 위해 그 현상에 직접 뛰어드는 능동적인 전략으로 활용되어 과학자들의 창의적 사고 산출을 돕는 매개체가 되었다. 그에 비하여 정서적 공감은 문제 상황이나 연구대상의 변화에 따라 관찰자인 과학자들이 무의식적으로 느끼는 감정변화에 의해서 문제 해결에 참여하게 되는 수동적인 측면의 매개체라고 할 수 있을 것이다. 이는 인지적 측면이 개인의 의지에 의한 자발적인 현상이라면 정서적 측면은 자극에 의해서 다양한 지역의 뉴런들이 활성화 되면서 수동적으로 나타난다는 뇌과학적 연구(Kragel & Laber, 2015; Saarimaki *et al.*, 2016)와도 연관된 것이다. 정서적 측면의 공감이 연구과정에서 수동적으로 나타날 지라도 이러한 감정적인 측면이 연구자가 연구를 지속시키고 유지할 수 있는 동기를 부여한 것이다.

#### 나. 개인 내적 공감과 사회 구성원과의 공감

과학자들이 문제 해결 상황에서 공감을 활용하는 것은 이것이 그 문제 상황에 대하여 보다 적극적으로 참여하도록 하는 매개체가 되기

Table 7. The personal and interpersonal empathy elements extracted from the problem-solving situation of scientists

Davis의 공감요소		추출된 과학자들의 공감요소	
		개인 내적 공감	사회구성원과의 공감
인지적	관점 취하기(PT)	연구대상의 관점에서 공감	다른 학문 분야를 통한 공감, 다른 사람의 의견 수용
	상상하기(FN)	관찰 근거의 상상, 사고실험, 연구 대상에 대한 유기체적 느낌	
정서적	공감적 관심(EC)	연구대상에 대한 감동, 더 연구하고 싶은 흥분	동료 연구자의 의욕에 따른 반응
	개인적 각성(PD)	문제에 대한 민감성	타인의 연구실패에 대한 불편한 감정

때문이다(Cottrell, 1982; David, 1997: as cited in Rifkin, 2009). 이에 본 연구에서는 과학자들이 문제에 참여하게 되는 매개체로서의 공감 사례들을 문제에 참여하여 개인적으로 발현되는 개인적 기제로서의 공감과 사회구성원과의 함께 문제에 참여하면서 발현된 공감으로 구분할 수 있었다(Table 7).

개인 내적 공감이란 개인적 측면의 공감을 말한다. 이는 크게 2가지 측면으로 나뉘질 수 있는데, 개인적 인지구조를 확장하기 위한 공감과 개인의 감정에 자극을 주는 공감으로 구분 할 수 있었다. 아인슈타인의 경우, 가상의 문제 상황에 연구자가 연구대상이 되는 사고 실험을 하거나, 갈릴레이의 경우 무거운 물체와 가벼운 물체를 묶어서 자유낙하 하는 사고 실험을 통해 기존의 과학 이론 및 법칙을 비판하고 이를 확장할 수 있었다. 즉, 과학자가 문제 해결의 관점을 연구대상으로 전환하여 문제 해결을 시도하거나, 자신의 머릿속에 문제 해결 방법을 상상하고 실험해보는 과정으로 공감이 나타났다. 이는 타인이 필요하지 않고 개인 내적인 과정에서 이뤄지는 인지적 공감이라고 할 수 있다. 그리고 과학자가 연구대상 자체에 대한 감동이나 연구에 대한 희열, 그리고 문제에 대한 민감성을 개인적 감정으로 경험한 뒤, 문제 해결에 참여하게 되는 정서적 공감측면도 나타났다. 이는 Jaber & Hammer (2016)가 범주화한 과학자들이 학문적 실험에서 경험하는 인식적 감정 중 ‘현상을 연구하면서 경험하게 되는 즐거움 (pleasure in studying phenomena)’과도 연관되어 있다고 말할 수 있다. 그리고 Chun *et al.*(2018)이 과학수업상황에서 확인할 수 있었던 문제 상황과의 공감과도 연관된 것이다.

이에 비하여 사회구성원과의 공감은 사회문화적 측면의 공감을 말한다. 이 또한 크게 2가지 측면으로, 타인과의 관계를 통해 과학자의 인지구조를 변화시키려는 공감과 과학자에게 감정적 자극을 주는 공감으로 나뉠 수 있다. 과학자들의 문제 해결 사례에서 그들은 문제 해결의 다양한 아이디어를 얻기 위하여 다른 학문 분야와 교류하거나 다른 사람의 의견을 수용하는 관점수용의 측면이 있었다. 그리고 정서적 측면에서 타인과의 관계를 통해 다른 사람의 연구 실패나 동료의 연구의욕에 따라 자신의 연구 동기를 자극받기도 하였다. 이러한 예로서 라부아지에지의 경우, 대수학의 기호를 사용하여 화학반응식을 간단하게 정리하였고 플로지스톤설의 미약한 설명에 대하여 보완하기 위하여 노력하였다(Lee, 2014). 이러한 정서적 공감은 Jaber & Hammer(2016)가 언급했던 ‘학문적인 상호작용에서 나타나는 감정적 측면(affective aspects of scholarly interactions)’의 인식적 감정과 일맥상통하며, 또한, 이는 Chun *et al.*(2018)이 언급했던 과학수업에서 학생들 사이에 발생할 수 있는 타인과의 공감과도 관련되었다고 할 수 있다.

본 연구에서 Davis 공감요소 중 과학자들에게 나타난 개인적 공감 요소로는 관점 취하기, 상상하기, 공감적 각성 그리고 개인적 각성이

있었고 사회구성원과 공감요소로는 관점취하기, 공감적 각성과 개인적 각성이 나타났다. 하지만 상상의 경우에는 타인관계를 통한 과학자들의 문제해결 상황에서는 나타나지 않았다. 이는 상상이 세계에 대한 개인의 인식 속에서 작용하는 인간정신의 힘이라는 Warnock (1976)의 견해와 일치하는 것이다. 결국, 개인 내적인 공감의 경우, 문제 해결 과정에서 느끼는 인지적이며 정서적인 개인측면의 공감으로 개인의 인식 속에서 세상을 바라보는 공감으로 정리 될 수 있다. 이에 비해, 사회구성원과의 공감의 경우에는 타인과의 상호작용을 통해 문제에 참여하여 세상과 함께 문제를 해결하고자하는 사회적 측면의 공감이라고도 할 수 있을 것이다.

#### IV. 결론 및 시사점

최근 과학교육에서 과학적 소양에 대하여 과학의 사회적 영향력을 바탕으로 세계시민으로서의 책임감, 협력, 공감, 메타 인지적 문제 해결과 같은 측면을 강조하고 있다(Choi *et al.*, 2011). 이에 본 연구의 목적은 이러한 인문학적 기제 중에서 미래교육에서 그 중요성이 강조되고 있는 공감에 대하여(Lee *et al.*, 2018), 과학자들의 문제 해결 상황에서 나타나는 그들의 사고과정, 감정 등을 분석하고 그들의 공감요소가 어떠한 특성으로 나타나는지 확인하는 데 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 창의성 연구자들이 언급한 과학자들 중 공통인물 6명을 분석대상으로 선정하고 그들의 자서전 및 그들의 일대기를 작성한 논문을 통해 그들의 문제 해결 과정에서 언어 및 행동, 생각이 들어난 사례들을 추출하였다. 이들의 사례 속에서 인지적 공감 및 정서적 공감요소를 추출하여 IRI를 기준으로 탐색하고 문제 해결단계에 맞춰서 이를 분석하였다. 총 12개의 서적과 50여개의 논문에서 제시한 사례를 Davis의 공감틀로 분석하였고 공통요인을 추출하여 공감과 관련된 선행 연구와 연관 지어 분석하였다. 분석 결과, 총 182개의 사례에서 과학적 공감요소가 추출되었고, 각각의 사례들에서 최종적으로 33개의 공통요소가 발견되었으며, 이를 새로운 관점을 유목화 하였다. 이에 본 연구자들은 탐색된 과학적 공감요소의 특징을 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 과학자들은 문제 해결 과정에서 다양한 공감요소를 활용하여 창의적으로 문제를 해결하고 있음이 확인되었다. 우리의 가설대로 역사적으로 명성이 뛰어난 6명의 창의적인 과학자들은 문제 해결 과정에서 인지적 공감과 정서적 공감능력을 복합적으로 활용한 것으로 나타났다. Basadur(1994)의 문제 해결 과정을 근거로 공감사례를 탐색해본 결과, 창의적 문제 해결의 4단계 중 문제를 발견하는 단계와 실행단계에서는 인지적 공감능력과 정서적 공감능력을 모두 활용한 것으로 나타났고, 아이디어를 생성하고 계획을 수립하는 단계에선 인지적 공감요소를 주로 사용하는 것으로 나타났다.

둘째, 과학자들의 문제 해결 과정에서 발견되는 공감요소는 기존의 공감요소와는 약간 다르다는 것이 확인되었다. Davis(1980)가 말하는 공감은 인지적이며 정서적인 측면을 모두 가지고 있는 복합기제로서 인지적 공감의 하위요소에는 다른 사람의 심리적인 관점이나 태도를 자발적으로 취해 보려는 경향인 관점 취하기와 책, 영화, 희극 등의 허구적인 인물의 느낌이나 행동 속으로 전위시켜 보려는 경향인 상상하기로 구성되며, 정서적 공감은 타자지향적인 동정을 느끼고 불행한 타인에 대해 관심을 갖는 경향인 공감적 관심과 다른 사람의 불행이나 고통을 보면 마음이 불편해지고 고통스러워지는 경향인 개인적 각성으로 세분화 될 수 있다. 하지만 과학자들의 사례에서는 기본 분석틀인 Davis(1980)가 정의한 공감과 완벽하게 일치하는 방법으로 공감을 사용한다고 볼 수 없었다. 다만, Davis의 분석틀의 범주 안에 있는 요소이지만 그 정의로써 설명 되지 못하는 요소가 과학자들에게만 보이는 공통적 공감능력으로 나타났다. 특히 과학자들은 타인과의 관계에서는 Davis의 정의와 유사한 사례들이 있었으나 문제를 발견하거나 문제를 해결하는 과정에서 공감의 대상이 사람뿐만 아니라 연구 주제나 연구대상으로 확장되는 경향이 나타났다. 즉, 과학자들이 ‘자신이 연구대상이라면 어떠했을까?’ 라고 사실적 및 비사실적 문제 상황에 자신을 투영하여 공감하는 것으로서, 자신이 연구대상의 관점으로 이성적으로 문제를 바라보기도 하고 그보다 홀연 일체된 이성과 감성의 결합에 경험으로 나타나기도 하였다. 이는 Jaber & Hammer(2016)가 분석한 과학자들의 탐구과정에서 발생하는 ‘연구대상에 대한 공감’과 같은 맥락이며, Chun *et al.*(2018)이 제시한 학생들이 과학수업 상황에서 활용하는 문제 상황과의 공감과도 유사하다.

셋째, 과학자들이 활용하는 공감의 경우, 문제 상황에 관찰자인 과학자들의 참여를 돕기 위한 매개체로서 논리적 사고를 창의적 사고로 확장시키는 문제 해결 전략이 되었다. 다시 말해, 전문가들이 과학적 문제 상황에서 논리적 사고 뿐만 아니라 직관적이며 창의적인 사고가 중요한 역할을 했던 선행연구처럼(Polanyi, 1958; Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2012), 논리적 사고를 창의적으로 재조직하는 과정에서 공감이 활용되었음을 확인할 수 있었다. 그 과정에서 인지적 공감은 문제 해결에 참여하기 위한 능동적 자극이 되고 정서적 공감은 과학자들이 문제해결과정에 지속적으로 참여하게 하는 원동력이 되었다. 또한, 공감은 개인 내적으로나 사회적 측면을 통하여 과학자들의 사고를 확장시키고 심화시켰다. 이에 대한 선행연구로 개인 내적 측면에서 괴테(1833)는 참여자로서의 과학방법론을 강조했으며, 코 후트(1975)는 공감을 하나의 관찰도구로서 과학에 접목시키면 과학적 원리에 의해 수행되는 연구의 깊이와 폭을 증가시킬 수 있기에 이를 위해 노력해야 한다고 말하였다(Rifkin, 2009). 또한, 과학자들의 사회적 측면으로서 공감이 과학자들의 과학적 추론을 타인과의 합의를 통한 집단과학의 방법으로(Dunbar, 2000; Ryan & Aikenhead, 1992; Yerrick & Roth, 2005) 문제를 해결하게 하였다. 즉, 문제 해결을 위한 인지적이며 정서적 공감이 과학자의 합리적 사고의 원천이자 그 기반으로서 새로운 이해를 얻을 수 있는 유용한 방법으로(Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2001) 나타난 것이다. 결국, 과학자들이 활용하는 공감의 인지적 정의적 요소는 개인적 측면뿐만 아니라 사회문화적 측면으로 보다 확대되어 탐색되었으며, 문제 해결 능력에 능동적인 자극을 주거나 수동적 자극으로 참여를 지속하게 하는 요소가 되었음을 확인할 수 있었다.

본 연구의 시사점은 과학교육측면에서 다음과 같다. 첫째, 문제 해결 과정의 과학학습 상황에서 과학자들의 사례로 탐색된 공감요소의 중요성을 재고해 볼 필요가 있다. 지금까지의 공감에 대한 선행연구는 교육측면에서 학문적 특성을 반영하지 못하였지만(Lee, J. *et al.*, 2014), 현대 과학교육에서는 학생들의 인지적 측면 뿐만 아니라 정서적 측면에서 가중치를 부여하고 있다(Lim, 2005; Roth, 2007). 이러한 연구의 흐름에 따라 본 연구는 인지적이며 정서적인 복합기제인 과학 공감에 대한 기초 연구로서 과학교육에서 공감의 필요성에 대한 토대를 마련할 것이다.

둘째, 과학자들의 사례에서 탐색된 공감요소에 대한 추가 연구가 필요함을 시사한다. 본 연구결과에서 제시된 바와 같이 과학자들이 문제 해결 사례에서 활용하고 있는 공감요소는 Davis의 공감요소와 완벽하게 일치한다고 할 수 없었으나 과학자들의 사례에서 발견되는 공통되는 요소를 기초로 과학적 공감요소에 대한 재정의가 가능할 것이다. 또한 본 연구는 과학자들의 문헌을 근거로 추출한 것이기 때문에 실제 과학 탐구 수업 상황에서 학생들의 문제 해결 행동분석을 통해 그 적용가능성을 확인해볼 필요가 있다.

셋째, 현대 사회에서 과학교육을 적용함에 있어도 탐색된 과학자들의 공감요소를 적용하여 교육을 실현할 필요가 있다. 본 연구를 통해 추출된 과학자들의 문제 해결 과정에서 발견되는 공감요소들은 현재 과학교육에서 중요하게 생각하는 요소와 그 흐름을 같이하고 있다. 현재 과학교육에서의 공감은 핵심역량의 하위요소로서 제시되거나(OECD, 2016: 6), 인문학적 관점에서 과학교육에서 필요함을 언급(MOE, 2015)하고 있지만 이에 대한 구체적인 연구는 거의 찾기 어려운 실정이다. 이에 본 연구결과를 통하여 과학교육에서 과학자들처럼 학생들이 과학수업에 능동적으로 참여하게 되는 기제로서 과학 공감을 가르치거나 이를 활용할 필요가 있는 것이다.

하지만 본 연구가 현재 실제 과학자들의 인터뷰나 그들의 행동패턴을 직접 관찰하고 분석한 것이 아닌 과거의 문헌자료를 토대로 과학자들의 공감요소를 분석하였기 때문에 이를 보완할 후속 연구가 필요하다. 본 연구는 과학교육에서 공감요소를 적용하고자하는 기반으로서의 의미를 지니기에, 추후 실제 과학수업 사례와 추출된 과학적 공감요소를 적용 및 활용할 방법이 고안된다면 과학적 공감요소와 과학교육과의 직접적인 관련성을 분석할 수 있을 것이다. 그러므로 본 연구를 토대로 과학교육 측면에서 학생들을 위한 과학 공감에 대한 연구가 확대되기를 바라는 바이다.

## 국문요약

본 연구의 목적은 과학자들의 문제 해결 과정에서 공감요소를 추출하고 그 공감요소가 과학자들의 문제 해결 상황에서 어떤 영향을 주고 있는지 확인해보고자 한다. 이에 본 연구는 창의성 연구자들이 언급한 과학자들 중 공통인물 6명을 분석대상으로 선정하고 그들의 자서전 및 그들의 일대기에 관련한 논문을 통해 그들의 문제 해결 사례에서 공감요소를 추출하여 이를 유목화 하였다. 총 12개의 서적과 50여개의 논문에서 제시한 사례를 Davis의 공감척도를 분석틀로 분석하였고 공통요인을 추출하였다. 그 결과 총 182개의 사례에서 과학 공감요소가 추출되었고, 이 중 33개의 공통요소가 발견되었다. 과학교육전문가집단의 내용타당도 검사를 통하여 본 사례의 타당도를

확인한 결과, 전문가의 내용타당도 I-CVI 평균은 .86, S-CVI 평균 .90 값이 확인되었다. 과학자들이 문제 해결사례에서 활용하고 있는 공감 요소는 인지적 공감으로 관점 취하기 측면에서 3가지(다른 학문 분야를 통한 공감, 연구대상의 관점에서 공감, 다른 사람의 의견 수용), 상상하기 측면에서 3가지(관찰 근거의 상상, 사고 실험, 연구 대상에 대한 유기체적 느낌), 정서적 공감으로 공감적 관심측면에서 3가지(동료 연구자의 의욕에 따른 반응, 연구대상에 대한 감동, 더 연구하고 싶은 흥분), 개인적 각성 측면에서 2가지(타인의 연구실패에 대한 불편한 감정, 문제에 대한 민감성)가 추출되었다. 이는 Davis의 공감요소와 완벽하게 일치한다고 할 수 없었으나 과학자들의 사례에서 발견되는 이러한 공통되는 요소를 기초로 과학 공감요소에 대한 정의가 가능할 것이다.

**주제어** : 과학 공감, 문제 해결 과정, 과학자의 문제 해결 사례 연구, 공감요소 탐색

References

Basadur, M. (1994). Managing the creative process in organizations. In M. A. Runco (Ed.), *Problem finding, problem solving, and creativity* (pp. 237-268). Norwood, NJ: Ablex.

Blair, R. J. R. (2005). Responding to the emotions of others: dissociating forms of empathy through the study of typical and psychiatric populations. *Consciousness and cognition*, 14(4), 698-718.

Bowler, P. J.(1990). *Charles Darwin: The Man and His Influence*.Cambridge University Press.

Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S., and Krajcik, J. (2011). Re-conceptualization of Scientific Literacy in South Korea for the 21st century. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6), 670-697.

Chun, O., Yang, H., & Kang, S. J. (2018). Exploration of empathy factors in the science and development of related scales. *Cogent Education*, 5(1), 1-23.

Cox, C. M. (1983). The early mental traits of 300 geniuses. In R. S. Albert (Ed.), *Genius and eminence: The social psychology of creativity and exceptional achievement* (pp. 46-51). Oxford, England: Pergamon Press.

Crombie, A. C. (1990). *Science, optics, and music in medieval and early modern thought*. A&C Black.

Davis, M. H., & American Psychological Association. (1980). A multidimensional approach to individual differences in empathy. Retrieved from [https://www.uv.es/friasnav/Davis\\_1980.pdf](https://www.uv.es/friasnav/Davis_1980.pdf).

Darwin, C. (1887). *The Autobiography of Charles Darwin*. Barnes & Noble Publishing.

Desmond, A., & Moore, J. (2009). *Darwin’s sacred cause: race, slavery and the quest for human origins*. Penguin UK.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational researcher*, 23(7), 5-12.

Dunbar, K. (2000). How scientists think in the real world: Implications for science education. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 49-58.

Duckworth, E. (2001). Inventing density. In E. Duckworth (Ed.), “Tell me more”: Listening to learners explain(pp. 1 - 41). New York, NY: Teacher’s College Press. (Original work published 1986)

Egan, G. (1990). *The skilled helper: A systematic approach to effective helping* (4th ed.). Belmont, CA, US: Thomson Brooks/Cole Publishing Co.

Eisenberg, N., & Miller, P. A. (1987). The relation of empathy to prosocial and related behaviors. *Psychological Bulletin*, 94, 101-131.

Frey, C. B., & Osborne, M. (2013). *The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation*.

Goldstein, A. P., & Michaels, G. Y. (1985). *Empathy: Development, training, and consequences*. Lawrence Erlbaum.

Hanson, N.R. (1958). *Patterns of discovery*. London : Cambridge University Press

Herbert, S.(1971). ‘Darwin, Malthus, and selection’. *Journal of the History of Biology*. 4. 209-217.

Hoffman, M. L. (1984). *Empathy, its limitations, and its role in a comprehensive*

moral theory. In J. Gerwitz & W. Kurtines (Ends.). *Morality, Moral Behavior, and Moral Development*, (pp. 283-302). New York: Wiley.

Howe, D. (2012). *Empathy: What it is and why it matters*. London: Palgrave Macmillan.

Hwang, Hee-sook (2018). Thought Experiments: on the Working Imagination and its Limitation. *philosophical studies*, 146, 307-328.

Isaacson, W. (2008). *Einstein: His life and universe*. Simon and Schuster.

Jaber, L. Z., & Hammer, D. (2016). Learning to feel like a scientist. *Science Education*, 100(2), 189-220.

Jung, D. (2017). Double Helix and X-ray Diffraction Photograph of DNA-Can the Data used to construct aHypothesis be Evidence to the Hypothesis? -. *Korean Journal of Philosophy*, 132, 237-264.

Jimenez-Aleixandre, M. P., Rodriguez, A. B., & Duschl, R. A. (2000). “ Doing the lesson” or “doing science”: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.

Keyes, T. (1997). Instantaneous normal mode approach to liquid state dynamics. *The Journal of Physical Chemistry A*, 101(16), 2921-2930.

Kim, C., Jo, J., Kim, B., Kim, Ye., Pak, C., I Y., Jang, M., Ju, Ch., Hong, H., Yun, H., & Cha, S. (2012). Long-term Vision of National Education: Educational Vision and Strategy for the Next 10 Years (gug-ga-gyo-yug-ui jang-gi-bi-jeon: hyang-hu 10nyeon-ui gyo-yug-bi-jeon-gwa jeon-lyag) (CR2011-106). Chungbuk: Korean Educational Development Institute

Kim, G. (1997). *Physics of Galileo*. Seoul; Bumyeongsa, 241-255.

Kim, T. (2015). A Study on Empathy. *Elementary Moral Education*, 47, 1-27.

Kim, Y., Seo, H., & Park, J. (2013). An analysis on problem-finding patterns of well-known creative scientists. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 33(7), 1285-1299.

Klahr, D., & Simon, H. A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125(5), 524.

Krzmaric, R. (2014). *Empathy: A handbook for revolution*. Random House

Kragel, P. A., & LaBar, K. S. (2015). Multi-variate neural bio-markers of emotional states are categorically distinct. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(11), 1437-1448.

Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Lawson, A. E. (2002). What does Galileo’s discovery of Jupiter’s moons tell us about the process of scientific discovery? *Science & Education*, 11, 1-24.

Lee Choong Hoon. (2014). Une « révolution » anticipée et préparé par Lavoisier:idée et perspective de la révolution lavoisienne de la chimie. *Revue d’Etudes Francophones*, 24, 287-320.

Lee, J., You S., & Lee, Y. (2014b). A Study on the Development of Empathy based Learning Model. *Korean Journal of Teacher Education*, 30(4), 151-177.

Lee, Y., Yoon, J., Hong, S., Lim, J., Baek, B. (2018). A Meta-Analysis of the New Challenges and Approaches for Future Education. *Journal of Education & Culture*, 24(5), 127-153.

Lemke, J. L. (1995). *Textual Politics: Discourse and Social Dynamics* Taylor & Francis. Inc. Bristol, PA Google Scholar.

Lim, S. (2005). Trends and significance of research about beliefs in physics education and cultural approaches. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(3), 371-381

Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing research*.

Mansfield, R. S., & Busse, T. V. (1981). *The psychology of creativity and discovery: Scientists and their work*. Chicago: Nelson-Hall.

Marton, F., Fensham, P., & Chaiklin, S. (1994). A Nobel’s eye view of scientific intuition: discussions with the Nobel prize-winners in physics, chemistry and medicine (1970-86). *International Journal of Science Education*, 16(4), 457-473.

Martin, R. L. (2010). *Design thinking*. (Lee, G. Trans.). Soeul: Ungjinwingseu. (Original work published in 2009).

Ministry of Education (2015). 2015 Science curriculum (Notification No.2015-74 of the Ministry of Education).

Millar, A. I. (2000). *Insights of genius: Imagery and creativity in science and art*. London, UK: The MIT Press.

Mun, J., Mun, K., Kim, S-W (2013). Scientists’Perceptions of Imagination and Characteristics of the Scientific Imagination. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(7), 1403-1417.

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. National Committee for Science Education Standards and Assessment. Washington, DC: National Academy Press

National Research Council (NRC). 2011. *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.

- Newton, C., & Wells, B. (1999). The development of between-word processes in the connected speech of children aged between three and seven. Whurr Publishers Ltd.
- OECD. (2013). PISA 2015 Draft collaborate problem solving framework, March 2013. Paris: OECD publishing.
- OECD (2016). Global competency for an inclusive world. Paris: OECD publishing.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simmon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Park, J. (2010). Future Education Vision Research (Mirae gyoyung bijeon yeongu). Chungbuk: Korean Educational Development Institute.
- Park, S. (2004). Empathy: Yesterday and Today (kong-kam-hak: eo-je-wa o-neul). Hakjisa: Seoul.
- Polanyi, M. (1958). *Personal Knowledge: "Towards a Post-Critical Philosophy"*. University of Chicago Press, Chicago
- Prisecaru, P. (2016). Challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, 8(1), 57.
- Rifkin, J. (2009). *The empathic civilization: The race to global consciousness in a world in crisis* Penguin (Lee, K. Trans.). Seoul: Mineumsa. (Original work published in 2009).
- Root-Bernstein, R. S., & Root-Bernstein, M. M. (2007). Sparks of genius. (Park, J. Trans.). Seoul: Ekouj seojae. (Original work published in 2001).
- Roth, W.-M. (2007). Mathematical modeling "in the wild": A case of hot cognition. In R. Lesh, E. Hamilton, & J. J. Kaput (Eds.), *Foundations for the future of mathematics education* (pp. 77-97). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ruse, M. (2010). *Science and spirituality: Making room for faith in the age of science*. Cambridge University Press.
- Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 559-580.
- Saarimaki, H., Gotsopoulos, A., Jaaskelainen, I. P., Lampinen, J., Vuilleumier, P., Hari, R., Sams, M., & Nummenmaa, L. (2016). Discrete Neural Signatures of Basic Emotions. *Cerebral Cortex*, 26(6), 2563-2573.
- Sawyer, R. K. (2007). *Group genius: The creative power of collaboration*. New York: Basic Books Press.
- Shamay-Tsoory, S. G., Aharon-Peretz, J., & Perry, D. (2009). Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain*, 132(3), 617-627
- Smith, A. (2006). Cognitive empathy and emotional empathy in human behavior and evolution. *The Psychological Record*, 56(1), 3-21.
- Song, S. (2007). But the Earth is spinning? Galileo Galilei. *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 47(9), 29-32.
- Turner, J. H. (2009). The sociology of emotions: Basic theoretical arguments. *Emotion Review*, 1(4), 340-354
- Warnock, M. (1976). *Imagination*. London: Faber.
- Watson, J. D. (1968). *The Double Helix: Being a Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*. New York, Atheneum.
- Yang, I. H., Jeong, J. W., Kim, Y. S., Kim, M. K., & Cho, H. J. (2006). Analyses of the aims of laboratory activity, interaction, and inquiry process within laboratory instruction in secondary school science. *Journal of the Korean earth science society*, 27(5), 509-520.
- Yerrick, R., & Roth, W. M. (2005). Introduction: The role of language in science learning and teaching. Establishing scientific classroom discourse communities: Multiple voices of teaching and learning research, 1-18.
- Zemal-Saul, C., Krajcik, J., & Blumenfeld, P. (2002). Elementary student teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 443-463.

## 저자 정보

양희선(한국교원대학교 학생)

강성주(한국교원대학교 교수)