

## 과학 학습지도를 위한 ‘과학적 설명’의 의미 명료화

박종원<sup>1</sup>, 윤혜경<sup>2\*</sup>, 이인선<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전남대학교, <sup>2</sup>춘천교육대학교, <sup>3</sup>충북대학교

### Clarifying the Meaning of ‘Scientific Explanation’ for Science Teaching and Learning

Jongwon Park<sup>1</sup>, Hye-Gyoung Yoon<sup>2\*</sup>, Insun Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chonnam National University, <sup>2</sup>Chuncheon National University of Education, <sup>3</sup>Chungbuk National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 3 October 2023

Received in revised form

24 October 2023

Accepted 13 November 2023

##### Keywords:

scientific explanation,  
explaining scientifically,  
description, prediction,  
inference, hypothesis,  
argument

#### ABSTRACT

Scientific explanation is the main goal of scientists' scientific practice, and the science curriculum also includes developing students' abilities to construct scientific explanations as a major goal. Thus, clarifying its meaning is an important issue in the science education community. In this paper, the researchers identified three perspectives on 'scientific explanation' based on the scoping review method (Deductive-Nomological, Probabilistic, and Pragmatic explanation models). We argued that it is important to clarify and distinguish the meanings of 'scientific explanation' from other concepts used in science education, such as 'description', 'prediction', 'hypothesis', and 'argument' based on a review of the literature. It is also pointed out that there is a difference between 'scientific explanation' as a product and 'explaining scientifically' as communication, and several ways to revise achievement standard statements in the science curriculum are suggested, to guide students to construct scientific explanations and to help students to explain scientifically. By adopting the three scientific explanation models, the important factors to be considered were classified and organized, and examples of science learning activities for scientific explanation considering such factors were suggested. It is hoped that the discussion in this study will help establish clearer learning goals in science learning related to scientific explanation and aid the design of more appropriate learning activities accordingly.

## 1. 들어가는 말

과학자들이 궁극적으로 과학을 통해 이루고자 하는 것은 자연현상이 왜 그러한가를 설명하고자 하는 것이며 과학의 모든 과정이 크게 보면 과학적 설명을 구성하는 과정이라고도 볼 수 있을 것이다. 과학에서는 여러 가지 관찰 데이터와 기존 이론에 기초하여 이전에 설명되지 않았던 현상을 설명하고, 예상하고, 그 설명의 타당성과 적합성을 다양한 방식으로 계속 검토한다. 과학교육에서는 학생들이 과학적 지식을 수동적으로 받아들이는 것이 아니라 스스로 여러 현상에 대한 과학적 설명을 구성할 수 있는 과학적 실행 능력을 갖추는 것을 중요하게 다루어왔다. ‘과학적 설명 구성하기(Constructing explanations)’는 미국의 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards, NGSS Lead States, 2013)에서 제시하고 있는 8가지 주요 과학적 실행 중 하나이다. 우리나라의 2022 개정 과학과 교육과정에서도 과정·기능 요소에 ‘모형으로 설명하기’, ‘결론을 도출하고 관련 상황에 적용·설명하기’ 등 ‘설명하기’가 주요 요소로 포함되어 있다(Ministry of Education, 2022). 즉, 과학적 설명은 과학자의 과학적 실행이 추구하는 핵심 목표이며 과학교육에서도 핵심적인 개념이다(Braaten & Windschitl, 2011).

그러나 이러한 ‘과학적 설명’의 중요성에도 불구하고 과학적 설명에 기본적으로 어떤 특성이 있는 것인지, 나아가 학생이 과학적 설명

을 할 수 있도록 돕기 위해서 어떠한 지도가 필요한지에 대해서는 구체적인 연구 문헌을 찾아보기 어렵다. ‘과학적 설명’이 어떤 의미를 내포하는지 그 의미를 명확하게 하는 것은 과학교육에서 매우 중요하다. 그 이유는 다양한 자료를 통해, 교사의 지도를 통해 학생들이 ‘과학적 설명’을 이해하거나 ‘과학적 설명’을 학생 스스로 구성하도록 하기 위한 구체적 방안을 연구하는데 기초가 되기 때문이다.

일반적으로 ‘설명’은 질문의 본성 및 그 목적에 따라, 그리고 질문이 제공되는 맥락에 따라 그 의미가 달라진다(Gilbert *et al.*, 2000; Norris *et al.*, 2005; Yeo & Gilbert, 2014). 즉 일상생활과 과학적 상황에서 ‘설명’의 형태나 사용 목적은 다를 수 있다. 일상생활에서 설명은 정보 요청에 대한 것일 수도 있고, 특정한 입장을 명확하게 하는 것일 수도 있고, 신념이나 행동을 정당화하는 것일 수도 있으며 사건의 원인을 제공하는 것일 수 있다. 몇몇 연구자들은 일상생활의 ‘설명’과 다르게 ‘과학적 설명’은 나름의 특징을 가지고 있다고 보고 있다. 예를 들어, 과학적 설명에서는 과학적 사실을 고려하여 현상의 의미를 구성하고자 하며, 인과적 설명을 위해 새로운 속성을 도입하거나 고안하게 된다(Osborne & Patterson, 2011). 즉 과학적 설명은 왜 자연현상이 일어나는지, 어떻게 일어나고 왜 지속되는지를 이해하기 위해, ‘왜 q인가?’라는 인과적 질문에 대해 ‘p이기 때문에 q이다’라는 답을 내는 것이다(Martin, 1972; Park & Han, 2002). 그러나 이 ‘왜’라는 질문이 반드시 문장의 형식만을 의미하는 것은 아니다. 형식

\* 교신저자 : 윤혜경 (yoonhk@cnu.ac.kr)

이 논문은 2023년 교육부의 춘천교육대학교 국립대학 육성사업 사업비 지원을 받아 작성되었음.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2023.43.6.509>

상 ‘왜’를 포함하고 있더라도 문맥상 원인을 묻는 게 아닐 수 있기 때문이다. 예를 들어, ‘철의 원자번호는 왜 26인가?’라는 질문에 대한 답은 ‘주기율표상에서 철이 26번째에 위치하기 때문이다’인데 이것은 인과적인 질문이나 설명이라고 보기 어렵다(Park, 2021, p. 78).

국내에서 수행된 과학교육 연구 중 ‘과학적 설명’에 관한 연구를 살펴보면 ‘과학적 설명’이 조금씩 다른 의미로 해석되고 있다는 것을 알 수 있다. Chang *et al.* (2023)은 감압 용기를 활용한 실험 후에 초등 영재 학생들이 작성한 글과 그림에 나타난 과학적 설명의 유형을 분석하였는데, 이 연구에서 제시된 분석 틀을 살펴보면 현상에 관한 기술과 인과적 설명을 모두 과학적 설명에 포함하여 제시하고 있다. 예를 들면, ‘풍선이 부풀고’, ‘풍선이 다시 줄어든다’와 같이 현상의 이유에 대한 해석 없이 감각적 수준에서 관찰한 현상만을 기술하거나 압력의 차이가 생기는 이유를 ‘공기 입자의 움직임이나 변화’와 연결하여 설명하는 경우 모두를 과학적 설명의 범주로 분류하였다. 또 일반 학생과 영재 학생의 과학적 의사소통 유형을 분석한 Jeon (2014)의 연구에서도 ‘서술’과 ‘설명’을 각각 ‘What과 How에 관한 기술’과 ‘Why에 대한 설명’으로 구분하여 제시하고 있지만, 두 가지 모두를 ‘과학적 설명형’ 유형으로 묶어서 의사소통의 한 유형으로 제시하고 있다. 이처럼 연구자에 따라 과학적 설명의 의미를 다르게 정의하고 한 연구 내에서 그 정의를 일관되게 사용하는 것은 문제가 되지 않을 수 있지만, 과학교육 공동체의 집단적인 논의를 위해서는 ‘과학적 설명’의 의미에 대한 공통적 이해를 추구하는 것이 필요하다.

이에 De Andrade *et al.* (2019)는 과학적 설명의 질(the quality of scientific explanations)에 관한 분석 틀을 제시하였다. 그들은 좋은 과학적 설명이 되기 위해서는 네 가지 차원이 갖추어져야 한다고 주장하였다: 관련성(relevance), 개념적 틀(conceptual framework), 인과성(causality), 적절한 수준의 표상(the appropriate level of representation). 즉 좋은 과학적 설명은 연관된 정보를 규명하고, 관찰 불가능한 세계를 추론하고, 원인과 결과 간의 논리적 연관을 세우며, 왜, 어떻게 특정 현상이 일어나는지 이해하기 위해 과학적 빅아이디어를 탐색하는 것을 포함한다. 이같이 과학적 설명은 과학적 설명이 갖추어야 하는 요소나 조건에 의해 정의될 수 있으므로, 과학적 설명이 갖추어야 하는 다양한 특징이나 요소를 규명하는 것은 ‘과학적 설명’을 개념화하는 하나의 방안이 될 수 있다. 또 다른 방안은 과학적 설명과 다른 구인의 차이를 규명하는 것이다. ‘과학적 설명’이 다른 구인과 어떠한 공통점과 차이점이 있는지 이해함으로써 ‘과학적 설명’의 의미를 더 분명하게 할 수 있다.

따라서 이 논문에서는 다양한 문헌 고찰을 바탕으로 ‘과학적 설명’에 대한 여러 관점과 정의를 고찰하고 과학교육의 탐구과정이나 다른 개념들, 즉 ‘기술’, ‘예상’, ‘추론’, ‘가설’, ‘논증’과 과학적 설명이 어떤 점에서 유사하고 어떤 점에서 구분되는지에 대한 논의를 통하여 ‘과학적 설명’의 개념을 명료화하고자 하였다. 그리고 이러한 관점에서 과학 학습지도에 주는 시사점이 무엇인지 논의하고자 한다. 본 연구의 연구 문제를 구체화하면 다음과 같다.

- ‘과학적 설명’에 대한 이론적 관점에는 어떠한 것들이 있는가?
- ‘과학적 설명’은 ‘기술’, ‘예상’, ‘추론’, ‘가설’, ‘논증’ 등 과학교육의 다른 개념 구인과 어떻게 다르고 어떻게 연관되어 있는가?
- ‘과학적 설명’의 개념을 명료화함으로써 과학 학습지도에 어떤 시사점을 줄 수 있는가?

위의 연구 질문을 다루기 위해 이 연구는 주제 범위 문헌 고찰 방법을 사용하였다. 주제 범위 문헌 고찰(scoping review, Arksey & O'Malley, 2005)은 체계적 문헌 고찰에 비해 폭넓은 범위의 주제를 다루며 연구 질문 또한 광범위하게 설정하는 경우가 많다. 주제 범위 문헌 고찰은 해당 주제에 대한 탐색의 목적을 가지며(Khalil *et al.*, 2016), 탐색적 연구 질문을 다루는 지식 합성의 한 형태이다(Colquhoun *et al.*, 2014). 일반적으로 체계적 문헌 고찰은 문헌의 포함, 배제 기준을 사전에 정하지만, 주제 범위 문헌 고찰은 이것이 사후에 수립될 수 있으며 정량적이지 않고 정성적인 종합을 목표로 한다. 그리고 주요 개념을 지도화하여 향후 연구 방향을 안내해 주는 역할을 한다(Arksey & O'Malley, 2005). Arksey and O'Malley(2005)는 주제 범위 문헌 고찰 연구 절차로 1) 연구 질문 도출, 2) 연구 검색, 3) 문헌 선정, 4) 자료 기입, 5) 결과 요약, 보고, 6) 자문의 6단계를 제시하였다.

이 절차에 따라 본 연구자들은 먼저 과학적 설명의 정의를 구체화 한다는 명확한 연구 질문을 설정하였다. 다음으로 학술논문 데이터베이스(Web of Science, ERIC, google scholar)를 사용하여 과학철학과 과학교육 분야에서 ‘과학적 설명’, ‘학생의 과학적 설명’, ‘과학적 논증’, ‘과학적 가설’, ‘과학적 추론’ 등을 키워드로 하는 문헌을 검색하였다. 먼저 검색된 문헌의 초록을 검토하여 첫 번째 연구 질문(과학적 설명에 대한 정의 및 이론적 관점)과 직접적으로 관련이 있다고 생각되는 주요 핵심 문헌을 추출하였는데 이때 2명의 연구자가 초록을 독립적으로 검토하여 연구 문제와의 관련성 여부를 판단하였다. 이후 연구자들은 추출한 문헌을 읽고 이해하며 연구 질문과 관련된 내용을 요약하였으며 ‘과학적 설명’의 모델을 세 가지 범주로 구분하였다. 다음으로 이들 논문에서 ‘과학적 설명’을 다른 개념 구인과 비교하는 설명을 요약하고 종합하면서 연구자들의 주장을 구체적인 예로 보강하였다. 이때에는 처음 추출한 문헌의 참고 문헌 중 관련이 있다고 판단되는 문헌을 선택적으로 추가로 고찰하였다. 마지막으로 교육적 시사점을 논의하기 위해 2022 개정 과학과 교육과정 문서를 추가로 고찰하면서 연구자 간 심층 토론을 진행하였다.

이 연구는 과학교육에서 추구해야 하는 ‘과학적 설명’의 개념을 좀 더 명료화하고 이를 통해 과학교육 연구와 실제에서 ‘과학적 설명’이라는 용어를 사용하는 데 있어 과학교육 공동체의 공통된 이해를 추구함으로써 학문적 공동체의 의사소통과 교육적 실행을 논의하는 과정에 도움이 될 것이다.

## II. 과학적 설명에 대한 여러 관점

과학적 설명에 대한 과학철학적 논의는 매우 다양하다. 예를 들어, 화창한 낮에 수직으로 세워진 막대기로 생긴 그림자의 경우, 태양의 위치와 막대기의 길이로부터 그림자의 길이를 설명할 수 있다. 또 반대로 태양의 위치와 그림자의 길이로부터 막대기의 길이도 설명할 수 있다. 과학을 학습하는 과정에서는 학생에게 두 경우 모두가 필요한 내용이 될 수 있다. 즉 그림자의 길이가 왜 그런지를 설명할 수도 있지만, 그림자의 길이로부터 막대의 길이를 추론하는 것도 교육적으로 의미가 있는 활동이다. 그러나 Salmon(1998, pp. 101-102)은 후자의 경우를 과학적 설명이라고 보지 않았다. 왜냐하면, 과학적 설명을 원인과 결과의 인과적 관계에 대한 것이라 보면(Brewer *et al.*, 1998; Hempel & Oppenheim, 1948), 막대의 그림자는 태양의 위치와 막대

의 길이가 원인이 되어 결정된 것이지만, 막대의 길이는 태양이 위치나 그림자의 길이가 원인이 되어 결정되는 것은 아니기 때문이다. 이같이 과학적 설명에 대해서는 엄격한 기능과 구조를 요구하는 경우가 많고, 또 다양한 관점이 있을 수 있다. 과학적 설명에 대한 관점은 크게 다음과 같이 세 가지로 정리할 수 있다.

1. 연역-법칙적(Deductive-Nomological) 설명 모델

과학적 설명은 대개 ‘왜’라는 이유에 대한 답을 포함하고 있는 경우가 많은데, 이러한 과학적 설명은 원인과 결과와의 관계가 인과적으로 연결될 것을 요구한다(Hempel & Oppenheim, 1948). 과학적 설명에 대한 이러한 관점은 자연에서 어떤 결과(현상)가 일어난 이유에는 반드시 특정 원인이 있다고 보는 자연관에 기초하는 것이며, 결정론적 관점(deterministic view)이라고 한다 (Hofer, 2023).

이러한 인과적 관계는 연역-법칙적 모델로 구조화할 수 있다. 즉 과학적 설명은 전제인 사실과 법칙에서 도출된 논리적 결론으로 본다(Hempel & Oppenheim, 1948, p. 138). 이때 한가지 언급할 필요가 있는 점은, 논리적으로 타당한(valid) 결론이 참(truth)을 나타내는 것은 아니라는 것이다. 예를 들어, 다음 두 전제를 살펴보자.

- (전제 1) 물체가 운동하고 있다면, 그 물체에는 운동 방향과 같은 방향으로 힘이 작용하고 있다.
- (전제 2) 책상 위의 물체가 운동하고 있다.

이 전제들로부터 내릴 수 있는 논리적으로 타당한 결론은 ‘책상 위의 물체에는 운동 방향과 같은 방향으로 힘이 작용하고 있다’가 된다. 그러나 물체가 등속으로 운동하고 있다면, 그 물체에 작용하는 힘은 0이므로, 위 결론은 참이 아니다. 또 만일 물체가 운동하고 있더라도 물체의 속력이 줄어들고 있다면, 물체에는 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하고 있다. 이처럼 논리적으로 타당한 결론이 참이 아닐 수 있는 이유는 전제가 참이 아니기 때문이다(이 경우에는 전제 1이 참이 아니다).

연역-법칙적 설명 모델에 대한 비판은 Van Fraassen(1988)에 의해 제기되었는데 그 하나는 ‘설명’의 거부이며 다른 하나는 ‘설명’의 비대칭성 문제이다(Choi, 2011). ‘설명’의 거부’는 ‘왜’라는 질문이라 하더라도 그 대답을 기대할만한 가치가 없는 것이 있다는 것이다. 예를 들면 ‘힘을 받지 않는 물체가 왜 속도를 유지하는가?’는 아리스토텔레스 역학에서는 중요한 질문이지만 뉴턴 역학에서는 과학적으로 의미 있는 질문이 아니다(Choi, 2011). 또 연역 논리에 의하면 앞에서 설명한 것과 같이 막대기의 길이로부터 그림자의 길이를 설명할 수 있으며 반대로 그림자의 길이로부터도 막대기의 길이를 설명할 수 있다. 이처럼 논리적으로는 두 가지 설명이 모두 가능하지만, 막대기의 길이를 그림자 길이로 설명한다고 해서, 막대기의 길이가 그림자의 길이 때문이라고 볼 수는 없기 때문이다. 따라서 이 모델은 ‘설명’의 비대칭성 문제(asymmetrical relationship of the explanation)를 해결하는 데 실패했다는 점에서 단점이 있다.

$$\psi = a_1\phi_1 + a_2\phi_2 + a_3\phi_3 + \dots$$

Figure 1. Quantum mechanical wave function

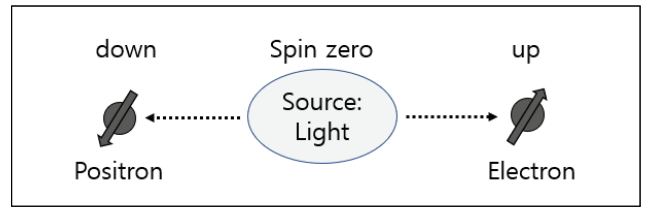


Figure 2. EPR(Einstein-Podolsky-Rosen): Schematic diagram of a thought experiment

2. 확률론적(Probabilistic) 설명 모델

연역-법칙적 설명 모델은 원인과 결과 간의 인과적 관계에 기반하지만, 자연현상에는 인과적 관계가 성립하지 않는 비 인과적 현상들도 있고, 그러한 비 인과적 현상은 확률적 과정으로 설명할 수 있다. 대표적인 경우가 양자물리학에서 사용하는 확률적 설명이다. 즉 양자 상태는 Figure 1과 같이, 가능한 고유 상태(eigen state)들의 선형적인 중첩(linear superposition)으로 나타내는데, 어떤 고유상태가 측정될지는 확률로만 알 수 있다. 예를 들어,  $\phi_1$  상태가 측정될 확률은  $a_1$ 에 의해 알 수 있을 뿐, 실제로 측정했을 때  $\phi_1$  상태가 측정될지 아닐지는 결정할 수가 없다. 결국 측정 결과,  $\phi_1$ 이 측정되었을 때, 왜  $\phi_1$ 이 측정되게 되었는지에 대한 인과적 원인을 말할 수 없다.

Einstein *et al.*(1935)은 양자역학에서 이러한 확률적 해석에 문제가 있다는 것을 지적하기 위해, Figure 2와 같은 사고 실험을 제안했다. 즉 이 장치에서 spin=0인 광자가 전자( $e^-$ )와 양전자( $e^+$ )의 쌍으로 생성되고, 각각 반대 방향으로 날아갔을 때, A 검출기에서 만약 spin-up 전자를 측정했다면, 스핀이 보존되어야 하므로 B 검출기에서는 spin-down인 양전자가 측정되어야 한다. 문제는 A 검출기에서 전자의 상태가 측정되는 순간 B 검출기에서의 양전자 상태가 결정될 수밖에 없고, 이것은 A 검출기에서 측정된 정보가 B 검출기로 가기도 전에 결정되는 것이므로 인과율에 어긋난다는 것이다. 그러나 이 사고 실험은 실제 실험을 통해 확인되었고(Aspect *et al.*, 1982), 따라서 전자와 양전자는 서로 얽혀있다고(entangled) 보고 있다. 즉, B 양전자의 상태는 A 전자의 상태가 결정되었다는 정보가 없이도 결정되므로, A 양전자의 상태를 결정짓는 직접적이고 물리적인 원인의 작용이 없다.

잘 알려진 슈뢰딩거의 고양이 사고 실험(Schrodinger, 1935)도, 문을 열고 상자 안을 관찰하였을 때 고양이가 살아 있다면, ‘고양이가 살아 있어서(원인), 문을 열었을 때 살아있는 고양이를 관찰하게 되었다(결과)’라고 설명하는 것이 고전적으로는 적절하지만, 양자역학에서는 문을 열 때 고양이가 살아있거나 죽어있는 상태가 결정되는 것으로 해석하고 있어, 고양이의 상태를 결정하는 직접적이고 물리적인 원인이 없는 것으로 보고 있다. 이러한 측면에 대해 물리학자 Born (1951)은 다음과 같이 양자이론에서는 인과성의 원리나 결정론은 다른 것으로 대체되어야 한다고 말했다.

“여기 양자이론에서 인과의 원리, 즉 더 자세하게 결정론은 없어지거나 다른 무엇으로 대체되어야 할 것이다(Here in the quantum theory it is the principle of causality, or more accurately that of determinism, which must be dropped and replaced by something else)” (Loc. 2180)

이러한 상황에서 제시될 수 있는 것이 확률론적 설명 모델이다. 예를 들어 주사위를 던져 ‘5’가 나왔을 때(결과), 주사위를 던질 때의 모든 물리적인 조건을 결정적으로 알 수 없는 상황에서는 왜 5가 나왔는지에 대한 원인을 구체적으로 명시할 수 없고, 따라서 원인과 결과와의 인과적 관계를 제시할 수가 없다. 단지 ‘5가 나올 1/6의 확률을 가지고 우연히 5가 나왔다’라고 할 수밖에 없다.

(전제 1) 주사위를 던져 ‘5’가 나올 확률은 1/6이다.

(전제 2) 주사위를 60번 던졌다.

(결론) ‘5’가 약 10번 나왔다.

여기에서 강조할 점은, 위에서 얻어진 결론은 주어진 두 개의 전제로부터 연역적으로 끌어낼 수도 있다는 점이다. 즉 주사위를 60번 던졌을 때, 왜 ‘5’가 약 10번이 나왔는지에 대한 이유는 확률론적 법칙(주사위의 5가 나올 확률은 1/6이다)으로부터 연역적으로 설명할 수 있다. Hempel(1965 pp. 385-386)은 위와 같은 확률법칙에 기반한 설명을 귀납적-통계적(Inductive-statistical) 설명 모델이라고 하였다. 여기서 ‘귀납적’이라고 의미는 확률론적 법칙이 귀납적으로 얻어졌기 때문이기도 하지만,<sup>1)</sup> 결론이 옳다는 것을 연역적으로 판단할 수 없고 귀납적으로밖에 판단할 수 없기 때문이다. 예를 들어, 다음과 같은 경우를 살펴보자.

(전제 1) 백신을 맞으면 병에 걸리지 않을 확률이 90%이다.

(전제 2) 철수는 백신을 맞았다.

이 상황에서 철수는 백신에 걸릴 수도 있고 걸리지 않을 수도 있다. 만일 철수가 병에 걸렸다고 해도 그 이유를 전제 1과 2에 기반하여 연역적으로 설명할 수 있고(병에 걸릴 확률이 10%이므로), 병에 걸리지 않았더라도 그 이유를 연역적으로 설명할 수 있다(병에 걸리지 않을 확률이 90%이므로). 그러나 이러한 설명이 옳은지에 대한 판단은 철수 외에 여러 사람의 경우를 통해서만 알 수 있다. 예를 들어, 백신을 맞은 사람 100명을 대상으로 관찰하였을 때 약 10명이 병에 걸렸다면, 위의 두 설명이 옳다고 결론 내릴 수 있다. 즉 확률론적 법칙에 기반한 설명이 옳은지의 여부는 귀납적으로 판단할 수밖에 없고, 그러한 점에서 Hempel (1965)은 확률론적 설명을 귀납적-통계적 설명 모델이라고 하였다.

여기에서 한가지 언급할 필요가 있는 점은, 확률론적 모델이 연역법칙적 모델과 마찬가지로 변인 간의 관계에 대한 기본적인 법칙에 기반한다는 점이다. 단지 연역법칙적 모델에서는 변인 간의 관계가 인과적 관계로 주어지지만, 확률론적 모델에서는 변인 간의 관계가 확률적으로 주어졌다는 점에서 차이가 있다고 하겠다. 즉 확률론적

모델을 이용한 설명은 확률론적 법칙에 기반한 연역적인 과정이라고 할 수 있다.

### 3. 실용적(Pragmatic) 설명 모델

위의 연역법칙적 설명 모델과 확률론적 설명 모델은 모두 과학적 설명에 대한 포괄적(covering) 모델<sup>2)</sup>에 기반하는데(Cartwright, 1980), 이는 과학적 설명이 모든 현상을 포괄하는 일반화된 법칙(확률론적 법칙을 포함하여)에 기반한다고 보는 것이다.

이처럼 과학적 설명은 일반화된 법칙에 기초하지만, 다양한 실제 상황(context) 요인들도 함께 고려할 필요가 있다. 모든 과학 법칙에는 가정과 조건 및 보조이론이 함께 있으므로(Lakatos, 1994), 법칙에 포함된 가정과 조건이 바뀌면 법칙의 내용도 달라지게 마련이고, 그에 따른 과학적 설명도 달라진다. 이러한 관점을 실용적 설명 모델(pragmatic model) 또는 상황적 모델(contextual model)이라고 한다. Van Fraassen(1988)은 이상적 상황에서는 과학적 설명이 논리적으로 하나의 결론으로 이끌어지지만, 실제 상황에서는 다양한 상황에 따라 다양한 설명이 가능하고, 질문의 초점이 무엇인가에 따라라도 답이 달라질 수 있다고 하였다. 또 Van Fraassen(1988)은 과학적 설명도 분명 일종의 설명으로서 어떤 설명이 요구되는가가 중요하기 때문에, 그것 역시 문맥적 요소의 영향을 받을 수밖에 없다고 믿었다(Choi, 2011).

예를 들어, 다음 질문을 보자: “왜 대전체를 가까이 가면 검전기가 벌어질까?”. 이 질문은 단순히 보이지만, 질문의 초점이 다음과 같이 다를 수 있다. “왜 다른 물체는 아닌데, 대전체를 가까이 가져가면 검전기가 벌어지는가?” 혹은 “왜 멀리는 안되고 가까이 가져가야 검전기가 벌어지는가?”. 즉 동일한 질문이라도 이 두 가지 초점에 따라 답이 달라질 수 있다. 첫 번째 질문의 초점에 대해서는 “대전체가 전기를 띠었기 때문에”라는 설명이 적절하지만, 두 번째 질문의 초점에 대해서는 “가까이 갈수록 전기력의 영향이 커지므로”라는 설명이 적절하다. Van Fraassen(1988)은 이같이 질문에 포함된 문맥적 요소를 중시했고 따라서 동일 질문에 대한 이 두 가지 답은 모두 옳은 답일 수 있으므로 질문의 초점이 무엇인지, 즉 질문을 하게 된 상황에 따라 어떤 답이 적절한지가 결정된다고 하였다.

이처럼 다양한 조건을 포함하고 있는 실제 상황에서 그리고 질문자의 의도와 답변자가 인식하는 초점이 무엇이냐에 따라 질문에 대한 답은 논리적으로 결정되는 하나의 답만 있지 않으며, 다양한 답이 가능하다는 게 실용적 설명 모델의 관점이다. 포괄적 설명이론과 실용적 설명이론 각각의 한계와 문제점에 대하여 과학철학에서 다양한 논쟁이 있지만(Choi, 2011), 이 논문에서는 이들을 각각 다른 ‘과학적 설명’의 관점이라고 본다.

이상으로 이번 절에서는 과학적 설명의 여러 가지 유형 중에서 대표적이라고 판단되는 3가지 유형에 대해서 그 특징을 정리해 보았다. 이처럼 과학적 설명의 여러 가지 유형을 살펴본 이유는 다양한 자연현상을 설명하기 위해서는 하나의 과학적 설명 모델로는 충분하지 않기 때문이다.

위의 3가지 과학적 설명은 모두 자연현상을 설명하기 위해 변인 간의 관계에 대한 기본적인 법칙에 기초한다는 공통점이 있다. 그러

1) 연역법칙적 설명모델에서도 인과적 법칙은 귀납적으로 얻어질 수 있다. 예를 들어, 왜 특정 저항에 특정 전류가 흐르는지 설명할 때 사용되는 옴의 법칙은 귀납적으로 얻을 수 있다.

2) 과학 법칙이 일반화된 법칙으로서 모든 현상을 포괄한다는 측면에서 ‘포괄적(covering)’이라는 용어를 사용한다.

나 그러한 변인 간의 관계가 인과적인 관계로 주어졌는지 비 인과적인 확률론적 관계로 주어졌는지에 따라 연역-법칙적 설명 모델이 적용되거나 확률론적 설명 모델로 다르게 적용된다. 이러한 차이는 설명하고자 하는 자연현상의 특성이 다르기 때문이다. 즉 연역-법칙적 설명 모델이 적용되는 자연현상은 비교적 이상적이고 단순한 변인 간의 관계를 설명하고자 하는데 적절하며, 확률론적 설명 모델은 매우 많은 변인이 포함된 경우이거나 미시세계의 양자적 현상에 관한 설명을 하는데 적절하다고 할 수 있다. 그러나 과학적 설명이 기본적인 법칙에 기초함에도 불구하고 설명하고자 하는 초점이 다양하거나, 단순하고 이상적인 상황이 아닌 다양한 조건들이 포함된 일상적 상황이라면, 실용적 설명 모델이 적절하다. 즉, 이러한 경우는 논리적으로 정해진 하나의 설명이 아닌 설명하고자 하는 목적에 따라, 그리고 실제 상황에 포함된 다양한 요인 중 어떤 요인을 고려하는가에 따라서 다른 설명들이 가능하게 된다.

### III. 과학적 설명과 유사 개념의 구분

앞 절에서는 다양한 관점의 과학적 설명 모델을 소개하였다. 이 절에서는 과학적 설명이 과학교육에서 사용하는 다른 개념 구인, 예를 들면 ‘기술’, ‘가설’, ‘예상’, ‘논증’ 등과 어떻게 다른지 그 경계를 구분해 보고자 한다. 이러한 구인은 과학적 설명과 밀접한 관련이 있지만, 과학적 설명과 구분되어 이해될 필요가 있다.

#### 1. 과학적 설명과 기술(description)

일상적 상황에서는 특정한 용어나 그림 또는 시 등의 의미를 말할 때 혹은, 자전거를 타는 방법과 같이 특정 행동을 어떻게 하는지 말할 때 ‘설명’한다는 표현을 사용한다(Salmon, 1998, p. 5; Brigandt, 2016). 하지만 과학적 상황에서는 ‘왜’라는 질문에 대한 답으로 과학적 설명을 좁게 정의하는 경우가 많다(Hempel & Oppenheim, 1948; Salmon, 1998; Van Fraassen, 1988). 예를 들어, van Fraassen(1988)은 다음과 같이 과학적 설명은 주장이나 명제가 아니며, 이유 질문에 대한 설명이론이라고 하였다.

“설명은 명제나 명제들의 나열 또는 논증과 같지 않다. ... 설명은 왜라는 질문에 대한 답이다. 따라서 설명이론은 왜라는 질문에 대한 이론이어야 한다(An explanation is not the same as a proposition, or an argument, or list of propositions; ... An explanation is an answer to a why-question. So, a theory of explanation must be a theory of why-question)” (pp. 137-138)

이에 반해, 과학적 기술(scientific description)에는 ‘왜’에 대한 답이 포함되어 있지 않다. 예를 들어, ‘전류의 세기는 전압에 비례한다’라는 법칙은 전류의 세기와 전압의 크기와의 관계를 서술, 즉 기술(describe)하고 있지만, 왜 전류의 세기가 전압에 비례하는지에 대한 이유를 포함하고 있지 않으므로 과학적 설명으로 간주되지 않는다. 이에 Bateson(1979, pp. 81-82)은 기술(description)은 현상과 현상을 이해할 수 있는 원인과의 관계가 포함되지 않은 독립적인 정보로서 논리와 설명을 포함하지 않고 있다고 하였다. 즉 기술은 ‘what-question’에 대한 것이고, 설명은 ‘why-question’에 대한 것으로 서로 다른 기능을 가지고 있다.

하지만 연구자들도 이 둘을 혼용하여 사용하는 경우가 종종 있다. 예를 들어, De Andrade *et al.*(2019)는 일상적 현상(예를 들어, 차가운 캔 주변에 물방울이 응결되는 현상)을 설명하는 과제에 대한 중학생(8학년)의 응답에 원인이 포함되어 있지 않고 따라서 원인과 결과와의 관계에 대한 추론이 포함되어 있지 않은 경우를 ‘기술적 설명(descriptive explanation)’이라고 하여, ‘기술’을 설명의 한 유형으로 포함하였다. 그러나 ‘설명’과 ‘기술’의 기능을 구별하는 것은 과학에서 중요하다. 예를 들어, 역학에서도 운동학(kinematics)과 동역학(dynamics)을 구별하고 있다. 즉 운동학에서는 물체의 운동을 물체의 위치와 속도 그리고 가속도로 기술하며, 동역학에서는 물체의 운동 변화가 왜 일어나는지를 힘의 작용으로 설명한다. 과학 수업 전략으로 많이 활용되는 예상-관찰-설명(POE: Predict-Observe-Explain)에서도 기술과 설명을 구분하고 있다. 즉 ‘관찰’에서는 관찰 현상을 정확하고 자세하게 기술하는 것을 강조하고, ‘설명’에서는 관찰한 현상이 왜 일어나는지에 대한 원인을 제시하는 것을 강조한다(Palmer, 1995).

과학적 설명과 기술이 이처럼 서로 다른 기능을 하지만, 반드시 별개로 일어나는 것만은 아니다. 즉 과학적 설명과정에 기술이 포함되는 경우가 종종 있다. 예를 들어, De Andrade *et al.* (2019)의 사례에서도 ‘캔 주변에 물방울이 응결되었다’는 기술과 함께 ‘왜냐하면...’이라는 설명이 함께 이루어지는 경우가 있기 때문이다. 또는 과학적 기술이 과학적 법칙의 기능을 하는 경우가 있다. 예를 들어, 다양한 조건에서 얻어진 결과로부터 변인 간의 관계를 나타내는 기술을 하게 되고(예를 들면 추세선에 대한 공식), 그러한 기술이 법칙의 역할을 하면서 관련된 다른 현상을 설명하게 되는 경우(예를 들면, 외삽이나 내삽을 하는 경우)도 기술과 설명이 함께 나타날 수 있다.

과학교육에서 탐구과정 기능의 하나로 중시되어 온 ‘추론(inference)’ 또한 관찰과 구분하여(Lederman *et al.*, 2002), 일반적으로 관찰이나 측정으로부터 관찰 및 측정 이상의 것을 진술하는 것으로 정의된다. 예를 들어, 내삽이나 외삽은 측정된 값 사이나 측정된 값 이상의 값을 추론하는 것이라 볼 수 있고, 촛불의 색을 관찰하여 촛불 온도를 말하는 것도 추론이라고 볼 수 있다. 이러한 추론의 경우에도 왜 그러한 추론을 하게 되었는지에 대한 이유를 포함하고 있다면 과학적 설명이 될 수 있다. 예를 들어, 촛불의 경우에 ‘불꽃의 색은 온도에 따라~하게 달라지므로’라는 이유가 제시된다면, 촛불의 색을 관찰하여 촛불을 온도를 말하는 추론도 과학적 설명이라고 할 수 있다.

#### 2. 과학적 설명과 예상

Hofstadter (1951, p. 339)가 ‘예상’과 ‘설명’은 과학적 지식의 두 가지 주요 기능이라고 하였듯이, 과학적 예상은 과학적 설명과 함께 과학철학의 주요 관심사 중의 하나(Douglas, 2009)이다. Almeh *et al.* (2023, p. 107)은 ‘왜’에 대한 이유가 없이 어떤 현상이 일어날 것인지에 관한 내용만 있는 경우를 ‘과학적 예상’과 구별하여 ‘단순한 예상’이라고 하였다. ‘과학적 예상’의 경우에 ‘왜’에 대한 답이 포함될 수 있으며, 따라서 원인과 결과와의 인과적 관계가 포함될 수 있다. 예를 들어, ‘높이 올라간 풍선이 터질 것이다’라는 예상의 경우에, ‘왜냐하면 높이 올라가면 기압이 낮아지고(조건), 보일의 법칙에 의하면 압력이 낮으면 부피가 팽창하므로’라는 이유가 포함된다면, 이러한 예상은 일반법칙과 조건으로부터 끌어낸 논리적 결론이며, 이 과

정에는 압력의 변화와 부피의 변화가 원인과 결과의 인과적 관계로 포함되어 있다. 이처럼 과학적 설명과 과학적 예상은 유사한 논리적 구조를 가질 수 있다. 단지 과학적 예성과 과학적 설명의 차이는 결과인 현상이 아직 일어나지 않은 경우(예상)와 이미 일어난 경우(설명)로만 차이가 있을 뿐이다. 이에 대해 Salmon(2006)은 다음과 같이 언급하였다:

“... 정확하게 동일한 논리적 구조가 과학적 설명과 과학적 예상에 적용된다; ... 만일 E라는 사건이 이미 일어났다면, 우리는 왜라고 질문할 수 있다. ... 그러나 만일 E의 발생 이전에 동일한 법칙과 사전 조건들이 있다면, 동일한 논증으로 예상을 할 수 있다(the very same logical schema fits scientific explanation and scientific prediction; ... If the event described by E has already occurred, we may ask why. ... If, however, we are in possession of the same laws and antecedent conditions before the occurrence of E, then that same argument provides a prediction of E.” (p. 47)

사건(현상)의 발생 유무에 따라 과학적 예성과 과학적 설명의 차이를 간단히 나타내면 Figure 3과 같다. 단, 이러한 과정은 과학 법칙이 인과적 법칙인 경우에만 적용할 수 있다. 전제 1에 오는 과학 법칙이 단순 상관관계나 확률 관계와 같은 비 인과적 법칙인 경우는 적용되지 않는다.

[과학적 설명/과학적 추론] 전제 1: $I = V/R$ 이다. 전제 2: $I$ (결과)가 2배 증가하였다. 결론: $V$ (원인)가 2배 증가했기 때문이다.	[과학적 예성] 전제 1: $I = V/R$ 이다. 전제 2: $V$ (원인)가 2배가 되었다. 결론: $I$ (결과)가 2배가 될 것이다.
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

Figure 3. Scientific explanation and scientific prediction based on the causality

### 3. 과학적 설명과 가설

과학적 가설은 현상에 대한 잠정적인 원인을 제안하는 것으로 정의되며, 인과적 질문과 과학적 설명을 연결하는 중요한 역할을 한다(Kwon *et al.*, 2003). 즉, 과학자들은 놀라운 현상을 발견했을 때 이 현상이 왜 일어났는지에 관심을 가지고(Hong & Chang, 2010), 이 놀라운 현상에서 제기된 인과적 질문에 대해 잠정적 답(가설)을 제안한다. 이러한 가설은 과학적 예성, 과학적 설명과 밀접한 관계를 갖는다.

Douglas (2009, p. 453)는 과학적 예성이 우리의 설명이 참된 것인지를 확인하는 데 도움이 되고, 나아가 그러한 확인은 우리가 앞으로 어떻게 해야 할지 결정하는 데 도움이 된다고 하였다. 예를 들어, 기후 변화에 대한 현재의 설명에 기초하여, 3~4년 후 기후 변화에 의한 효과를 예상하고, 그러한 예성이 3~4년 후에 입증된다면, 이후에 기후 변화와 관련된 의사결정을 근거 있게 할 수 있을 것이다.

그러나 이러한 상황은 과학적 예성이기보다는 과학적 가설에 더 가깝다. 왜냐하면, 과학적 예성의 경우에는 이미 확증된 과학 법칙에 기반하여 내린 논리적 결론이므로, 예상하는데 기반이 된 과학 법칙과 사전 조건들이 참이라고 검증되어 있고, 그로부터 내린 논리적 과정이 타당하다면, 결론으로 내린 과학적 예성은 참이라고 할 수 있다. 반면에 과학적 가설의 경우에는 예상하는데 기반이 되는

법칙이나 유사한 사례들이 참이라는 보장이 아직 없는 상황에서 제안한 것이고, 따라서 그에 기반한 예성은 임시적이므로 검증이 필요한 것이다(Wenham, 1993; Quinn & George, 1975). Figure 4는 이 두 가지를 비교한 것이다.

[과학적 예성] 전제 1: $I = R/V$ 이다. 전제 2: 전압의 크기가 2배 증가하였다. 결론: 전류의 세기가 2배 증가할 것이다.	[과학적 예성 가설] 전제 1: 기주 공명 장치에서 물이 많을 때 높은 소리가 난다. 전제 2: 포도주잔에 물이 많이 들어있다. 결론: 물이 많이 든 포도주잔에서 높은 소리가 날 것이다.
---------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figure 4. Scientific prediction and scientific prediction hypotheses

위의 과학적 예성(Figure 4의 왼쪽 사례)에서는 전제 1과 전제 2가 참이라면 결론이 논리적으로 타당하므로, 결론이 참이라고 할 수 있고, 따라서 결론으로 내린 예성을 반드시 검증해야 하는 것은 아니다. 그러나 과학적 가설(Figure 4의 오른쪽 사례)에서는 전제 1과 전제 2가 참이고, 전제들로부터 내린 결론도 ‘나름 타당’하지만, 결론이 옳다는 논리적 보장이 없다. 왜냐하면, 기주 공명 장치의 현상을 설명하는데 기반이 되는 과학 법칙과 포도주잔 현상을 설명하는데 기반이 되는 과학 법칙이 동일한 것인지 분명하지 않기 때문이다. 단지, 물이 든 유리그릇에서 나는 소리라는 측면에서 두 상황이 유사하다고 보고, 포도주잔에서의 예성을 위해 기주 공명 장치의 상황을 이용한 것이다. 따라서 이러한 경우는 실제로 결론(예성)을 검증해야 한다. 그리고 실제 실험을 해 보면, 물이 많이 든 포도주잔에서는 물이 적게 든 포도주잔에 비해 오히려 낮은 소리가 나므로, 결론(예성)이 틀렸다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 기주 공명 현상은 공기진동에 대한 과학 법칙(공기 기둥의 길이에 따라 소리의 높낮이가 달라진다)에 기초하지만, 포도주잔 현상은 잔의 진동에 대한 과학 법칙(진동하는 물체의 질량에 따라 소리의 높낮이가 달라진다)에 기초하기 때문이다.

과학적 예성의 논리적 구조가 과학적 설명의 구조와 동일한 것처럼, 과학적 가설의 논리적 구조도 과학적 설명이나 과학적 예성의 논리적 구조와 같다. 단, 현상이 일어난 원인에 대해 임시적이고 검증이 가능한 설명을 제안한 경우는 과학적 가설이 된다. 이때 과학적 예성과 과학적 가설의 차이점은 논리적 결론을 이끄는 전제에 있다. 즉, Figure 4의 왼쪽 사례에서 과학적 예성을 위해 사용된 전제 1과 전제 2는 결론에 직접적이고 분명한 관계가 있다. 그러나 Figure 4의 오른쪽 사례에서 과학적 가설을 위해 사용된 전제 1은 결론과의 직접적인 관계가 분명하지 않다. 단지 과학적 가설을 제안하기 위해 관련이 있다고 가정되는 다른 사례를 임시로 가져온 것이다. 이같이 가설을 제안하는데 필요한 전제(법칙)를 다른 것에서 가져오는 사고를 귀추(abduction)라고 한다(Peirce 1998, p. 216; Hanson, 1961, p. 86). Lawson(1995)은 귀추를 다음과 같이 설명하였다.

“(귀추)는 현재 상황이 다른 알려진 상황과 어느 정도 비슷(유사)하다는 것을 감지하는 것과 그러한 유사성을 현재 상황에 대한 가설의 출처로 사용하는 것을 포함한다((abduction) involves sensing ways in which the current situation is somehow similar (analogous) to other known situations and using this similarity as a source of hypotheses in the present situation)” (p. 7)

이와 관련하여 Park(2006) 또한 가설 설정에서 유사한 다른 상황을 찾을 때 Figure 5와 같이 유사성에 기초한 추론을 이용한다고 설명하였다.

설명해야 할 현상 P에는 특성  $\alpha, \beta$ , 그리고  $\gamma$ 가 있다.  
배경지식 BK에도 유사한 특성인  $\alpha', \beta'$ , 그리고  $\gamma'$ 가 있다.  
따라서 BK와 P는 서로 유사한 특성이 있다.  
BK에는 또 다른 특성  $\delta'$ 가 있다.  
그렇다면, P도 유사한 특성  $\delta$ (아직  $\delta$ 가 입증된 것은 아니지만)를 가지고 있다고 추론할 만하다.

Figure 5. Modified model of similarity-based reasoning by Park (2006)

앞서 추론(inference)은 과학적 관찰에 기반하여 관찰 이상의 것을 말하는 것이라고 하였다. 이러한 추론 또한 과학적 가설과 유사할 수 있다. 예를 들어, 공룡의 발자국을 관찰하고, 발자국의 특별한 특징으로부터 '공룡이 먹이를 먹기 위해 살금살금 걸어갔다'라고 추론했다면, 그것은 검증이 필요한 과학적 가설에 가깝다고 할 수 있다.

#### 4. 과학적 설명과 논증

과학교육에서 '논증 활동'은 주장이나 설명을 표현하고 정당화하는 과정을, '논증'은 그 과정의 산물 또는 내용을 의미한다 (Kim & Yoon, 2016). 주장(claim)은 논증(argument)과 같지 않다. 하나의 주장에 관련된 증거 제시를 요구하거나 반대 주장이 제기되어 서로 다른 주장과 증거들의 제시와 반박 등을 통해서 서로의 주장을 설득하는 과정이 있을 때 논증 활동이 일어난다고 할 수 있다(Kim & Yoon, 2016). Driver *et al.*(2000)는 대화적 논증 활동(dialogic argumentation)을 '서로 다른 관점을 고찰하고 수용할만한 주장이나 행동에 동의하기에 이르는 것'으로 정의했으며, 이러한 논증 활동은 '문제를 해결하고 지식을 발전시키기 위해'(Duschl & Osborne, 2002) 사용되는 사회적이고 협력적인 과정으로 정의된다.

과학교육에서 논증에 관한 많은 연구는 Toulmin(1958/2003)의 논증 모형(Toulmin's Argumentation Patterns: TAP)을 사용해 왔다. Toulmin은 논증의 요소를 '주장(claim)', '근거(data)', '추론규칙(warrants)'으로 제시하였고, 이 세 요소 간의 관련성과 추론규칙을 뒷받침하는 '지원(backing)'과 '반박(rebuttals)', 그리고 주장에 대한 '확신 정도(qualifiers)'를 통해 논증이 결정된다고 보았다. 주장, 근거, 추론규칙은 논증에 꼭 필요하고 하나라도 부족할 경우 논증이 성립하지 않는다. 이에 반해 지원과 반박, 확신 정도는 모든 논증에 꼭 필요한 것은 아니지만 논증의 논리를 강화 하는데 쓰인다(Kim & Yoon, 2016). 연구자들은 학생이 쓴 글 등에서 논증 요소를 찾아 논증 능력을 분석하는 연구를 하기도 했다(e. g., Driver *et al.*, 2000; Osborne *et al.*, 2004). 또 학생들이 문제해결을 위해 서로 다른 주장을 제기하고, 다른 학생의 주장을 의심하고, 증거를 요청하며 평가하는 논증 활동을 촉진하기 위해 대화적 논증 활동 모형(Walton, 2006)이 제안되기도 하였다.

과학적 설명과 과학적 논증은 구별되기 어렵고, 유사한 것으로 보는 경우도 많지만(Osborne & Patterson, 2011), 과학적 논증과 과학적 설명이 항상 같은 것은 아니다. 먼저 과학적 논증에는 '왜'에 대한

답을 찾는 활동이 아닌 경우가 있다. 즉 다음과 같이 주어진 자료에 기반하여 귀납적인 주장을 하는 논증도 있다.

[자료] 오렌지를 먹은 철수와 영수는 감기에 걸리지 않았다. 오렌지를 먹지 않은 영희와 경호는 감기에 걸렸다.

[주장] 오렌지를 먹으면 감기에 걸리지 않는다.

위의 주장은 주어진 자료에 근거하여 주장하였다는 점에서 논증으로 볼 수 있지만, 왜 '오렌지가 감기에 걸리지 않게 하는지'에 대한 이유가 포함되어 있지 않으므로, 과학적 설명은 아니다. 그러나 이 논증 과정에서 오렌지가 감기에 걸리지 않는 이유를 비타민 C와 감기와의 관계에 대한 알려진 법칙(또는 논문)에 기반하여 '(알려진 법칙이나 논문에 의하면) 비타민 C는 감기 예방에 효과적이라고 알려져 있는데, 오렌지에는 비타민 C가 많이 있으므로, 철수와 영수가 감기에 걸리지 않은 이유는 오렌지를 많이 먹었기 때문이다'라고 주장하였다면 이 논증은 과학적 설명이 될 수 있다. 이때 비타민 C와 감기의 관계에 대한 알려진 법칙이나 논문은 Toulmin(1958/2003)의 논증 구조에서 '지원(backing)'에 해당한다. 이같이 논증 과정에서 데이터와 주장과의 관계에 직접적으로 연관이 있고, 잘 알려진 법칙이나 이론을 '지원'으로 사용하게 되면 과학적 논증은 과학적 설명과 구조적인 면에서 같다고 할 수 있다.

## IV. 과학 학습지도를 위한 시사점

### 1. 과학적 '설명'과 '설명하기'의 구분

'설명(explanation)'과 '설명하기(explain, explaining)' 또는 '설명 구성하기(construct/constructing explanation)는 일상생활에서는 그 의미를 굳이 나눌 필요가 없을 수 있다. 그러나 과학교육에서는 이들의 의미를 구분하는 것이 필요하다.

Martin(1970, p. 16)은 사물이나 현상에 대한 설명 자체와 다른 사람에게 사물이나 현상에 관해 설명하는 것을 구분하였다. 즉 '설명'은 사물이나 현상을 이해하고 관련된 새로운 지식을 구성하거나 찾아내기 위한 것으로 탐구의 기본적인 활동과 그로 인한 산물에 속하지만, '설명하기'는 다른 사람에게 지식을 전달하거나 이해를 돕기 위한 의사소통 행위로 교육적인 의미가 강하다. Brigandt(2016, p. 5)도 과학적 설명에는 교과서나 논문에 쓰인 것과 같은 설명 내용을 뜻하는 것과, 설명하는 사람이 다른 사람에게 설명해 주는 행위를 뜻하는 두 가지 의미가 있다고 하였다. 이때 산물로서의 '설명'은 설명의 논리와 근거 및 타당성이 중요하지만, 의사소통으로서의 '설명하기'는 이 외에도 청자의 이해를 돕기 위한 여러 가지 요소들이 포함된다는 점에서 둘 사이에는 차이점이 있다. 즉 Kulgemeyer & Schecker(2013)는 '설명하기'를 의사소통으로 보고, 예시를 사용하는지, 적절한 그래프나 그림을 만들거나 활용하는지, 청자의 사전지식이나 설명에 대한 이해를 확인하는지, 설명할 주제를 명시화하고, 설명 전에 적절한 도입을 활용하는지 등이 설명하기에서 중요한 요소들이라고 하였다.

교육적으로 '설명하기'가 중요한 것은 교사가 학생에게 이해를 돕기 위해 설명하는 행위를 뜻하기 때문이기도 하지만, 학생이 다른 학생에게 설명하는 행위도 학습 측면에서 중요한 의미를 갖기 때문이

[6과07-03] 주위에서 열의 이동으로 나타나는 현상을 관찰하여 열의 이동 방식이 다양함을 설명할 수 있다.  
 성취기준 해설: 전도, 대류, 복사는 고체, 액체, 기체에서의 열의 이동과 빛에 의한 열 이동 현상을 관찰하는 데 중점을 두고 다룬다.  
 → 여기서는 만약 학생이 전도, 대류, 복사, 개념을 이해하고 이러한 개념을 적용하는 것이 목표라면 ‘전도, 대류, 복사 개념을 이해하고 주변에서 열의 이동으로 나타나는 현상을 이 개념으로 설명할 수 있다’는 표현이 적절할 수 있다.

[4과09-02] 자석과 자석을 가까이했을 때 나타나는 현상을 관찰하여 그 특징을 자석의 극과 관련지어 설명할 수 있다.  
 성취기준 해설: 자석과 물체, 자석과 자석 사이의 상호작용을 다루되, 자기장의 개념은 도입하지 않는다.  
 → 여기서 학생이 ‘설명할 수 있는’ 혹은 ‘설명해야 하는’ 내용은 현상을 기술하는 것에 가깝다. 왜냐하면, 개념을 도입하지 않고 자석의 같은 극은 밀고 다른 극은 당긴다는 내용을 학생이 말하거나 표현하는 것을 목표로 한다고 보이기 때문이다. 따라서 이 경우 ‘설명할 수 있다’는 표현보다는 ‘기술할 수 있다’는 표현이 적절할 수 있다.

[4과15-01] 실험을 통해 기체가 무게가 있음을 설명할 수 있다.  
 성취기준 해설: 부피가 같은 용기에 공기를 1기압으로 담은 상태와 이 상태에서 공기를 넣거나 뺀 상태의 무게를 비교하는 실험을 바탕으로 기체가 무게가 있음을 설명한다.  
 → 여기서 학생이 ‘설명하는 것’은 기체의 무게에 관한 실험 결과를 추론하는 것이다. 그러나 입자 모델과 관련된 지식이나 개념을 이용하여 왜 기체가 무게가 있는지를 설명하는 수준의 활동은 아니다. 따라서 용기에 기체를 압축하여 넣기 전후의 무게를 비교하여 기체가 무게가 있음을 알도록 하는 것이라면 관찰로부터 관찰 이상의 것을 ‘추론할 수 있다’가 적절할 수 있다.

Figure 6. Examples of corrections to the 2022 revised science and curriculum achievement standards statement

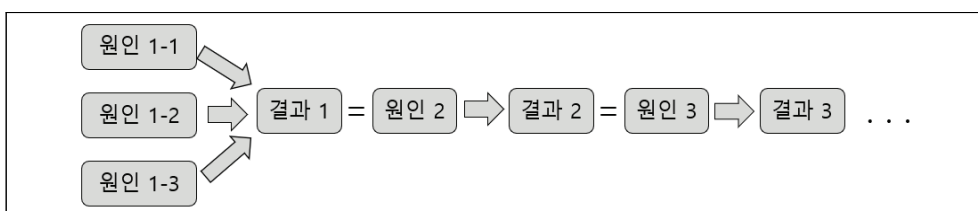


Figure 7. Multiple cause-to-effect relationships and step-by-step cause-effect relationships

다. 예를 들어, 학생이 동료 학생에게 설명하는 ‘동료 지도(peer teaching)’의 경우, 학생이 설명하는 과정에서 자신의 이해에서 부족하거나 불완전한 부분을 인식하는 메타 인지 과정이 일어나게 되면서, 설명하는 학생의 지식을 발전시키고 새로운 지식을 생성하는 데 도움을 줄 수 있다(Tulli & Goldstone, 2020).

이러한 ‘과학적 설명’과 ‘설명하기’의 구분과 관련하여 재고할 필요가 있는 것 중 하나가 과학과 교육과정의 성취기준 진술이다. Jo(2015)는 제7차 교육과정 이후 초·중학교 과학과 교육과정 성취기준의 서술어를 분석하였는데 교육과정에 따라 차이는 있지만 ‘안다’, ‘이해한다’, ‘설명한다’의 빈도가 매우 높은 것으로 나타났다. 2022 개정 교육 과정에 대해서는 정확한 분석 결과가 없지만 ‘설명할 수 있다’는 어구가 성취기준으로 빈번하게 제시되고 있다. 성취기준은 학생들이 학습을 통해서 달성해야 할 지식, 기능, 태도의 능력과 특성을 기술한 것이며 성취의 주체는 학습자이다. 즉, 성취기준의 주어는 학습자 또는 학생이라고 할 수 있다. 또 교육과정 성취기준은 교과서 개발과 제작에 있어 절대적인 참고 자료가 되며 교사가 과학 수업에서 수업 목표, 평가 기준을 세우는 데 주요한 자료가 된다. 따라서 성취기준이나 수업 목표의 서술어가 구체적이고 조작적일수록 유용하다(Jo, 2015). 따라서 ‘설명할 수 있다’는 성취기준의 의미를 좀 더 명확하게 제시할 필요가 있다. 즉 성취기준에는 간단하게 ‘설명할 수 있다’고 하였지만, 그 내용을 좀 더 구체적으로 살펴보면, 의미가 명확하지 않거나 다른 용어가 더 적절한 경우가 많다. 예를 들어, Figure 6은 2022 개정 과학과 교육과정의 성취기준에서 ‘설명할 수 있다’를 좀 더 구체적으로 진술하거나 다른 적절한 용어로 바꿀 수 있는 사례이다.

## 2. 학생의 과학적 설명 구성을 돕기

이 절에서는 학생이 과학적 설명을 구성할 수 있도록 지도하는 과정에서 고려해야 하는 사항을 과학적 설명 모델에 따라 정리하고 학생 개별 과학적 설명 구성과 협력적 과학적 설명 구성을 돕는 지도 방안의 예를 제안하고자 한다.

### 가. 과학적 설명 모델에 따른 고려 사항

먼저 연역-법칙적 설명 모델에 따른 설명에서는 현상을 설명하는데 기반이 되는 법칙과 개념을 추출하는 것이 중요하다. 그리고 법칙과 개념에 기초하여 원인과 결과(일어난 현상) 간의 인과적 관계를 서술하는 것이 중요하다. 이때 모든 과학적 법칙과 인과적 관계는 조건과 가정들이 포함되기 마련이므로, 설명에 필요한 조건과 가정들도 함께 명시하는 것이 중요하다. 또한 좀 더 복잡한 상황에서는 주어진 현상에 대해 하나의 원인이 아닌 여러 원인이 있을 수 있고, 또 단계별로 원인-결과와의 관계에서 결과가 다시 다음 현상에 대한 새로운 원인이 되어 원인과 결과와의 관계가 단계적으로 나타날 수도 있다(Figure 7).

확률론적 설명 모델에 따른 설명에서는 왜 그런지에 대한 법칙적 관계가 확률로 주어지게 된다. 따라서 특정 현상의 원인을 설명하는 과정에서 모집단에서의 확률 관계를 살펴봐야 하고, 이러한 확률적 관계에 기반하여 현상을 설명하게 된다. 이때 왜 그러한 현상이 벌어지는지에 대한 구체적인 원인은 제시할 수 없으므로, 확률적 관계 자체에 대한 이유를 물을 필요는 없다. 예를 들어, ‘○○하면 ○○할 확률이 ○○이다’라는 확률적 관계가 주어졌을 때, ‘왜 ○○하면 ○○할 확률이 ○○인지?’에 대해서는 물을 필요가 없다. 그 이유는 앞서



Table 1. Emphasis in the student’s explanation construction process

설명 모델	설명 구성 활동에서 강조할 점
연역-법칙적 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>설명의 기초가 되는 과학 법칙</li> <li>원인과 결과와의 인과적 관계</li> <li>설명과정에 포함되는 가정과 조건들</li> </ul>
확률론적 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>확률적 관계</li> <li>모집단의 확률 관계와 현상과의 (비 인과적) 관계</li> </ul>
실용적 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>설명하고자 하는 초점</li> <li>설명과정에 포함되는 다양한 변인과 조건 및 상황</li> <li>다양한 설명 중에서 가장 그럴듯한(plausible) 설명의 선택</li> </ul>

논의한 바와 같이 결과에 포함된 요인들이 많아서 모든 요인에 의한 효과를 말할 수 없기 때문이기도 하지만, 비 인과적 자연현상(예: 미시적 양자 현상)도 있기 때문이다.

실용적 설명 모델에 따른 설명은 주로 복잡하고 다양한 요인들이 포함된 실제 상황의 설명에 적절하다. 따라서 이 활동에서는 설명하고자 하는 측면(질문의 초점)이 무엇인지를 명시하는 것이 중요하며, 연역-법칙적 설명 모델에서도 강조하였지만, 설명에 포함된 가정과 조건을 포함하여 설명하고자 하는 상황을 구체적으로 명시하는 것이 특히 중요하다. 그리고 논리적인 관계나 증거가 일부 부족하더라도 가장 그럴듯한 설명이 무엇인지를 판단하는 상황이 있을 수 있다. 왜냐하면, 복잡하고 다양한 요인들이 포함된 실제 상황에서의 과학적 설명에는 ‘논리적으로 타당한’ 설명보다는 ‘현상을 이해하는데 가장 그럴듯한’ 설명이 현상을 설명하는 데 유용하고 실제적이기 때문이다. 이런 경우, ‘그럴듯한’ 과학적 설명은 종종 완벽한 결론이 아닌 경우가 많으므로 과학적 가설을 제안하는 경우와 구별되기 어려울 수 있다. 3가지 과학적 설명 모델에 따라 설명 구성을 지도할 때 강조할 점을 요약한 것은 Table 1과 같다.

나. 활동지를 통한 개인별 설명 구성하기

교사는 활동지를 통해 학생이 스스로 과학적 설명을 구성하도록 안내하고 도울 수 있다. 이때 학생들이 과학적 설명을 구성하도록 하기 위해서는 과학적 설명의 유형에 따라 강조할 점을 명시적으로 나타내는 것이 필요하다. 예를 들면, Figure 8은 연역-법칙적 설명 모델에 따라 설명을 구성하는 활동에서 강조할 측면을 명시적으로 포함한 경우이다.

철수는 높이 올라간 풍선이 터지는 현상(결과)을 관찰하였다. 그러면 왜 높이 올라간 풍선이 터지는지 설명하기 위해 다음 내용을 작성해 보자.

- ① 높이 올라갔을 때 대기압은 어떻게 변화하는가? (조건)
- ② 높이 올라간 풍선이 터지는 것과 관련된 과학 법칙에는 무엇이 있는가? (법칙)
- ③ ①과 ②의 내용을 고려할 때 높이 올라간 풍선이 터지는 원인은 무엇인가? (원인)
- ④ 높이 올라간 풍선이 왜 터지는지 원인과 결과를 구분하여 설명해 보자. (원인과 결과 간의 인과적 관계)

Figure 8. Examples of activities to construct individual scientific explanations according to Deductive-Nomological models

다. 논증 활동을 통한 협력적 설명 구성하기

과학적 논증 활동에서는 자신의 설명을 설득하는 과정, 자기의 생각과 다른 설명을 비판하는 과정, 여러 설명 중에서 가장 타당하다고 판단되는 설명을 선택하는 과정 등이 포함된다. 과학적 논증 과정에서 동일 현상에 대해 다른 설명이 가능할 수 있는 이유는 첫째, 다양한 조건과 가정들이 포함된 상황에서 서로 다른 조건과 가정을 선택하면 다른 설명이 가능하기 때문이다. 예를 들어, 하늘 높이 올라간 풍선이 터졌을 때, ‘온도가 일정하다고 하면(조건 1)’ 높이 올라갔을 때 기압이 낮아지므로, 보일의 법칙으로 풍선이 팽창하여 터졌다는 설명과 함께, ‘높이 올라가면 기온이 낮아지므로(조건 2)’ 샤를의 법칙으로 오히려 공기가 수축하므로, 풍선이 터지기 위해서는 다른 이유가 있다는 주장도 가능하다. 또 ‘낮은 온도에서 팽창한 풍선이 탄성을 잃게 되므로(조건 3)’ 풍선이 터진다는 설명도 가능하다. 왜냐하면 고도가 10 km 정도이면 기온이 약 -50°C로 감소하여 일반적인 고무는 탄성을 잃을 수 있기 때문이다. 따라서 이 경우에는 부피 팽창과 고무가 탄성을 잃게 되는 요인 중에 어느 요인이 더 크게 작용하였는지에 대한 논쟁이 가능하다. 따라서 다양한 변인과 조건들을 고려해 보는 실용적 설명 모델에 기반하여 논증 활동에 참여할 수 있다. 그러한 활동의 예는 아래 그림과 같다(Figure 9).

철수는 높이 올라간 풍선이 터지는 현상(결과)을 관찰하였다. 이에 대해 A, B, C 모둠은 각각 다음 내용을 조사하여 왜 풍선이 터지는지에 설명하기 위해 다음과 같은 활동을 수행한다.

- ① A모둠: 높이에 따른 기압의 변화를 조사한다. (조건 1)  
B모둠: 높이에 따른 기온의 변화를 조사한다. (조건 2)  
C모둠: 온도에 따른 고무의 탄성력 변화를 조사한다. (조건 3)
- ② 각 모둠에서 조사한 내용을 바탕으로 풍선이 터지는 이유를 발표한다. (조건에 따른 원인과 결과 간의 인과적 관계)
- ③ 자기의 생각과 다른 설명에 대해 반박하고, 추가적인 정보나 예 등을 통해 자기의 설명을 보완하여 설득해 보자. (반박과 설득)
- ④ 각 모둠의 설명을 종합하여 최종적으로 높이 올라간 풍선이 왜 터지는지 서로 합의된 설명을 만들어보자. (가장 그럴듯한 설명에 대한 합의와 선택)

Figure 9. Constructing scientific explanation through argumentation

3. 학생의 과학적 설명하기를 돕기

동료 학생에게 설명하는 활동은 자신의 과학적 설명을 정교화하고 부족한 부분을 인식하여 완성하는 데 중요한 역할을 한다. 따라서 ‘설명하기’는 단순히 다른 사람의 이해를 돕기 위한 목적뿐 아니라, 자신의 설명을 정교화하고 발전시키는 데에도 중요한 역할을 한다. 이때에는 과학적 설명의 구조에 기반한 설명하기뿐 아니라, 상대방의 이해를 돕기 위해 고려해야 하는 의사소통적 요소들이 함께 고려될 필요가 있다. 이러한 Kulgemeyer & Schecker(2013)의 연구를 참고하여, 고려 사항을 제시해 보면 Table 2와 같다.

Table 2. Things to consider in communication activities to explain to colleague

범주	활동 예
청자의 이해를 돕기 위한 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 예를 사용하기</li> <li>• 시각적 표상이나 비유/모델을 사용하기</li> <li>• 과학용어를 일상적 용어로 풀어 사용하기</li> </ul>
청자와의 상호작용 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 청자의 이해를 확인하기</li> <li>• 청자의 질문을 듣고 답하기</li> <li>• 청자의 사전지식이나 경험과 연관 짓기</li> </ul>
설명의 구조적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사실(결과)과 원인 간 관계 명시하기</li> <li>• 관련된 과학 법칙 (또는 확률적 관계) 명시하기</li> <li>• 포함된 가정과 조건 명시하기</li> <li>• (복잡한 상황인 경우) 가능한 다른 원인 점검하기</li> </ul>

위와 같은 고려 사항은 학생의 설명하기 뿐 아니라 교사의 설명하기에도 똑같이 적용될 수 있을 것이다.

### V. 맺는말

이 논문에서는 주제 범위 문헌 고찰을 통해 먼저 ‘과학적 설명’에 대한 3가지 관점(연역-법칙적 설명 모델, 확률론적 설명 모델, 실용적 설명 모델)을 추출하고 이를 고찰하였다. 각각의 과학적 설명 모델은 자연현상에 대해 ‘왜’라는 질문에 대해 답을 주는 기능을 하며, 변인 간의 기본적인 관계를 나타내는 법칙에 기반한다는 점에서는 공통점이 있었다. 그러나 과학적 설명을 하고자 하는 자연현상이 비교적 단순하고 이상적인 상황인지, 미시적인 양자 현상이나 많은 변인이 포함된 복잡한 상황인지, 다양한 법칙과 조건들이 포함되어 있거나 설명하고자 하는 초점이 다양할 수 있는 상황인지에 따라 적절한 기능을 할 수 있는 설명 모델이 다르다.

물론 여기에서 논의한 3가지 과학적 설명 모델 외에도 다른 과학적 설명 모델들이 있다. 예를 들어, 지구과학이나 생물학 영역에서 많이 사용되고 있는 서사적(narrative) 설명은 인과적으로 연계된 사건들을 시간적인 흐름 속에서 서술하거나 생물학적 대상에 대해 묘사하는 특징이 있으며(Oh, 2020; Lee & Shim, 2012), 연역-법칙적 설명 모델과 다른 관점이라 할 수 있다(Park, 2007). 따라서 이 연구는 세 가지 주요 과학적 설명모델을 구분하였으나 과학적 설명의 모든 유형을 제시하고 있지 못하다는 한계가 있다. 앞으로 보다 다양한 유형의 과학적 설명에 대한 확장된 논의가 필요하다고 하겠다.

다음으로 이 연구에서는 과학적 설명이 ‘기술’, ‘예상’, ‘가설’, ‘논증’ 등 과학교육에서 자주 등장하는 개념들과 어떠한 유사점과 차이점이 있는지 고찰하였다. 즉 여러 가지 관찰 현상이나 실험 결과를 잘 ‘기술’하는 것과 현상의 원인을 말하는 과학적 설명은 다르다. 또 무슨 일이 일어날지 단순하게 예상하는 것은 결과만을 말하는 것이므로 과학적 설명이 되기 어렵다. 그러나 ‘왜’ 그렇게 예상하는지에 대한 이유가 포함된다면 ‘과학적 설명’과 ‘과학적 예상’은 동일한 논리적 구조를 가질 수 있다. 이 경우 차이는 단지 ‘과학적 설명’은 이미 일어난 현상에 대한 것이며 과학적 예상은 일어날 일에 대한 것이란 점에서 차이가 있을 뿐이다. 과학교육에서 증시해 온 ‘과학적 가설’은 귀추적 사고에 기초하며 왜라는 질문에 대한 잠정적 설명으로 임시적

이며 검증이 필요한 것이다. 그러나 과학적 설명은 확증된 과학 법칙이나 논리에 기반하여 내린 결론이므로 검증이 필요하지 않다. 그런 점에서 과학적 가설과 설명은 서로 다른 것이라 할 수 있다.

‘논증’이나 ‘논증 활동’은 주장에 관련된 증거를 제시하고 반대 주장이나 서로 다른 주장의 제시와 반박을 통해 서로의 주장을 설득하고 합의된 설명을 구성해 가는 과정이다. 논증은 과학적 설명과 같지 않지만, 논증이나 논증 활동에서 ‘지원(backing)’으로서 과학적 법칙이나 이론이 사용된다면 논증과 과학적 설명은 같은 구조를 갖게 된다. 이같이 ‘과학적 설명’은 과학교육의 다른 개념들과 구분되면서 유사한 점 또한 가지고 있다. 따라서 이러한 용어들의 의미를 구분하여 사용하는 것이 과학교육에서는 중요하다. 특히 교육과정과 같은 문서에서는 학생들에게 현상을 ‘기술’하도록 요구하는 것인지, ‘설명’을 하도록 요구하는 것인지 명확하게 할 필요가 있다. 이 연구에서는 이처럼 과학교육에서 용어 구분과 사용의 중요성을 강조하고 일부 예를 제시하였으나 실제 논문이나 문헌을 체계적으로 분석하여 무엇이 문제인지 구체적인 사례를 중심으로 제시하지 못했다는 점에서 또한 연구의 한계가 있다.

과학적 활동이나 실천의 결과로 만들어진 산물이 ‘과학적 설명’이라면 ‘과학적으로 설명하기’는 자신이 가진 ‘과학적 설명’을 타인에게 의사소통하는 것이다. 과학교육에서 우리는 학생이 과학적 설명을 구성할 수 있기를 기대하고 또 자신의 과학적 설명을 다른 사람에게 설명할 수 있기를 기대한다. 그러나 학생들이 구성하는 ‘과학적 설명’이 과학자의 과학적 설명과 반드시 같아야 하는 것은 아니다. 학생이 구성하는 과학적 설명은 학습 과정을 통해 점점 발전하고 정교화될 것이며 그것이 과학 학습 과정의 주요 목표가 될 수 있다. 학생이 정답에 해당하는 과학적 설명을 구성하기를 바란다기보다는 과학적 설명의 구조와 특성을 가지는 설명을 학생들이 자신의 사고 과정을 통해 구성해 낼 수 있기를 기대하고 그러한 역량을 길러주는 것이 과학교육의 목표라고 할 수 있을 것이다.

이때 학생이 개별적으로 혹은 협동적으로 과학적 현상에 대한 설명을 구성하는 것과 이것을 다른 사람에게 의사소통하는 것, 즉 ‘과학적 설명 구성하기’와 ‘과학적으로 설명하기’ 또한 구분될 필요가 있다. 후자는 의사소통 측면의 역량에 해당하며 언어적, 비언어적 다중 양식을 효과적으로 활용한다거나 청자의 이해를 확인하면서 상호작용하는 것 등이 중요할 수 있다. 따라서 과학적 설명 역량 증진과 과학적 의사소통 역량 증진을 위한 지도에서는 강조해야 할 점이 다를 수 있다. 이 논문에서는 ‘과학적 설명 구성하기’와 ‘과학적으로 설명하기’가 구분되어야 함을 지적하고 몇 가지 방안을 제안하였지만 이외에 학생의 ‘과학적 설명 구성’과 ‘과학적으로 설명하기’를 지도하기 위한 더 풍부한 지도 방안이 연구되고 개발되어야 할 것이며 학생들의 ‘과학적 설명 구성’ 역량과 ‘과학적으로 설명하기(과학적 의사소통)’ 역량을 평가하는 방안에 관한 연구 및 실제 경험적 데이터에 기반한 연구도 후속되어야 할 것이다.

### 국문요약

과학적 설명은 과학자의 과학적 실행에서 추구하는 주요한 목표이며 과학교육 과정 문서에서도 학생의 과학적 설명 구성 능력을 주요한 목표로 포함하고 있다. 따라서 그 의미를 명료화하는 것은 과학교

육 공동체에서 중요한 문제이다. 이 논문에서는 주제 범위 문헌 고찰 방법을 사용하여 ‘과학적 설명’에 대한 3가지 관점을 추출하고 각각에 대해 고찰하였다(연역-법칙적 설명 모델, 확률론적 설명 모델, 실용적 설명 모델). 그리고 문헌 고찰 내용을 바탕으로 과학적 설명이 과학교육에서 사용하는 다른 개념들, 즉 ‘기술’, ‘예상’, ‘추론’, ‘가설’, ‘논증’과 어떤 점에서 유사하고 어떤 점에서 구분되는지 논의하면서 이러한 용어들의 의미를 구분하여 사용하는 것이 과학교육 연구와 실행에서 중요하다는 점을 주장하였다. 또 산물로서의 ‘과학적 설명’과 의사소통으로서 ‘과학적으로 설명하기’가 차이가 있음을 지적하고, 과학 교육과정의 성취기준 진술 방안, 학생의 과학적 설명 구성을 돕는 방안, 학생의 과학적 설명하기를 돕는 방안을 몇 가지 제안하였다. 예를 들어, 세 가지 과학적 설명 모델에 따라 각각 중요하게 고려해야 할 요인들을 구분하여 정리하고, 그러한 요인을 고려한 과학적 설명을 위한 과학 학습활동 사례를 제시하였다. 본 연구에서의 논의가 과학적 설명과 관련된 과학 학습에서 좀 더 분명하게 학습 목표를 설명하고 그에 따라 보다 적절한 학습활동을 설계하는 데 도움이 되기를 기대한다.

**주제어** : 과학적 설명, 과학적 설명하기, 기술, 예상, 추론, 가설, 논증

## References

- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32.
- Aspect, A., Dalibard, J., & Roger, G. (1982). Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers. *Physical Review Letters*, 49(25), 1804-1807.
- Bateson, G. (1979). *Mind and nature. A necessary unity*. E. P. Dutton.
- Born, M. (1951). *The restless universe*. Dover Publications, Inc.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639-669.
- Brewer, W. F., Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (1998). Explanation in scientists and children. *Minds and Machines*, 8, 119-136.
- Brigandt, I. (2016). Why the difference between explanation and argument matters to science education. *Science & Education*, 25(3-4), 251-275.
- Cartwright, N. (1980). The truth doesn't explain much. *American Philosophical Quarterly*, 17(2), 159-163.
- Chang, J., Park, J., & Park, J. (2023). Analysis of scientific explanations and the affordances constructed in gifted elementary students' science drawings and science writings about air pressure: Pedagogical use of multimodal representations. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 42(1), 161-177.
- Choi, H.-C. (2011). A study on Van Fraassen's pragmatism of explanation. *CHULHAK-RONCHONG, Journal of the New Korean Philosophical Association*, 66(4), pp. 403-419.
- Colquhoun, H. L., Levac, D., O'Brien, K. K., Straus, S., Tricco, A. C., Perrier, L., ... & Moher, D. (2014). Scoping reviews: time for clarity in definition, methods, and reporting. *Journal of Clinical Epidemiology*, 67(12), 1291-1294.
- De Andrade, V., Freire, S., & Baptista, M. (2019). Constructing scientific explanations: A system of analysis for students' explanations. *Research in Science Education*, 49, 787-807.
- Douglas, H. E. (2009). Reintroducing prediction to explanation. *Philosophy of Science*, 76(4), 444-463.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(2), 287-312.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38, 39-72.
- Einstein A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum mechanical desertion of physical reality be considered? *Physical Review*, 47, 777-780.
- Alameh, S., Abd-El-Khalick, F., & Brown, D. (2023). The nature of scientific explanation: Examining the perceptions of the nature, quality, and "goodness" of explanation among college students, science teachers, and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(1), 100-135.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 193-208). Dordrecht: Kluwer.
- Hanson, N. R. (1961). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press.
- Hempel, C. (1965). Aspects of scientific explanation. In C. Hempel (Ed.), *Aspects of scientific explanation, and other essays in the philosophy of science* (pp. 331-489). Free Press.
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, XV, 135-175.
- Hoefer, C. (2023). Causal determinism. In E. N. Zalta & U. Nodelman (eds.), *The Stanford encyclopedia of philosophy*. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/determinism-causal/>
- Hofstadter, A. (1951). Explanation and necessity. *Philosophy and Phenomenological Research* 11, 339-347.
- Hong, S., & Chang, H.-W. (2010). Laboratory and creativity: The role of the leader and laboratory culture. *Journal of Science & Technology Studies*, 10(1), 27-71.
- Jeon, S. (2014). A comparison analysis of scientific communication skills between gifted students and general students. *Journal of Gifted/Talented Education*, 24(1), 149-164.
- Jo, K.-H. (2015). Comparison of verbs in the contents of the national curriculum for elementary and middle school science: Focused on the 7th, 2007, and 2009 Revision. *Journal of Science Education*, 39(2), 239-254.
- Khalil, H., Peters, M., Godfrey, C. M., McInerney, P., Soares, C. B., & Parker, D. (2016). An evidence-based approach to scoping reviews. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 13(2), 118-123.
- Kim, M., & Yoon, H.-G. (2016). *Scientific reasoning & argumentation*. Kyoyookbook.
- Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2013). Students explaining science-assessment of science communication competence. *Research in Science Education*, 43, 2235-2256.
- Kwon, Y. -J., Jeong, J. -S., Kang, M. -J., & Kim, Y. -S. (2003). A grounded theory on the process of generating hypothesis - Knowledge about scientific episodes. *Journal of the Korean Association for in Science Education*, 23(5), 458-469.
- Lakatos, I. (1994). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In J. Worrall and G. Currie (Eds.), *The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers*. Vol. 1 (pp. 8-101). Cambridge University Press.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and development of thinking*. Wadsworth Publishing Company.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lee, H. -J., & Shim, K. C. (2012). Analysis of writing characteristics of scientifically gifted students by explaining cell. *Journal of Gifted/Talented Education*, 22(1), 141-155.
- Martin, J. R. (1970). *Explaining, understanding and teaching*. McGraw Hill.
- Martin, M. (1972). *Concepts of science education: A philosophical analysis*. Scott, Foreman and Company.
- Ministry of Education (2022). *Science curriculum*. Sejong: Ministry of Education.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89(4), 535-563.
- Oh, P. S. (2020). An exploration of narrative explanation as a type of scientific explanation - Based on textbook explanations of El Niño -. *Journal of Energy and Climate Change Education*, 10(1), 13-24.
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction?. *Science Education*, 95(4), 627-638.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science*

- Teaching, 41, 994-1020.
- Palmer, D. (1995). The POE in the primary school: An evaluation. *Research in Science Education*, 25, 323-332.
- Park, C. (2021). The effects of causal question strategy on hypothesis generation in chemical inquiry: From the scientific knowledge perspective and the developmental perspective. Doctoral Dissertation, Seoul National University.
- Park, J. & Han, S. (2002). Using deductive reasoning to promote the change of students' conceptions about force and motion. *International Journal of Science Education*, 24(6), 593-609.
- Park, J. (2006). Modelling analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypotheses. *International Journal of Science Education*, 28(5), 469-489.
- Park, S. -B. (2007). A Study on narrative explanation in science. *CHUL HAK SA SANG - Journal of Philosophical Ideas*, 24, 399-416.
- Peirce, C. S. (1998). The nature of meaning: the sixth lecture on 7 May 1903. In the Peirce Edition Project (Ed.), *The essential Peirce: Selected philosophical writings*. Vol. 2(1893-1913) (pp. 208-225). Indiana University Press.
- Quinn, M. E., & George, K. D. (1975). Teaching hypothesis formation. *Science Education*, 59, 289-296.
- Salmon, W. C. (1998). *Causality and explanation*. Oxford University Press.
- Salmon, W. C. (2006). *Four decades of scientific explanation*. University of Pittsburgh press.
- Schrodinger, E. (1935). Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik (The present situation in quantum mechanics). *Naturwissenschaften*. 23(48), 807-812.
- Toulmin, S. (1958/2003). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Tullis, J. G., & Goldstone, R. L. (2020). Why does peer instruction benefit student learning?. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5, 1-12.
- Van Fraassen, B. (1988). The pragmatic theory of explanation. In J. Pitt (Ed.), *Theories of explanation*. (pp. 136-155), Oxford University Press.
- Walton, D. (2006). *Fundamentals of critical argumentation*. Cambridge University Press.
- Wenham, M. (1993). The nature and role of hypotheses in school investigations. *International Journal of Science Education*, 15, 231-240.
- Yeo, J., & Gilbert, J. K. (2014). Constructing a scientific explanation-A narrative account. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1902-1935.

## 저자정보

박종원(전남대학교 교수)  
윤혜경(춘천교육대학교 교수)  
이인선(충북대학교 조교수)